



Title	心材の人工形成に関する研究
Author(s)	矢沢, 亀吉; YAZAWA, Kamekichi; 石田, 茂雄 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 25(1), 9-34
Issue Date	1967-11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20844
Type	departmental bulletin paper
File Information	25(1)_P9-34.pdf



心材の人工形成に関する研究

故 矢沢 亀吉* 石田 茂雄**

大 谷 諄***

A Study on the Formation of the Artificial Heartwood

By

The late Kamekichi YAZAWA, Shigeo ISHIDA
and Jun OHTANI

目 次

序 論	9
研究経過の概要と研究方法	11
研究結果と考察	13
I. 人工心材の形成における樹種特性	13
II. 人工心材の形成における若干の一般的事項	19
III. 各種処理と人工心材の形成	26
要 結	28
参 考 文 献	30
Summary	30
写 真	

序 論

林木生理ならびに木材利用における辺・心材区分の意義についてはあらためて述べるまでもないが、辺材から心材への移行、すなわち心材化の機構については解明されるべき重要な問題が多い。したがって、古くから少なからざる研究がこの問題に関して行なわれてきたが、近年とくに心材形成についての樹木生理、樹木生化学的な研究が世界的にさかんに行なわれるようになってきた。

心材ないしは心材類似の材部を、人為的処理を施すことによって、生立木樹幹の辺材内に形成せしめようとする試みは、過去において、一つには実用的観点から、一つには心材形成機構の解明のために、二、三おこなわれている。たとえば、大沢・平井氏は、そのカ

* 元北海道大学農学部 教授，林学博士

** 北海道大学農学部木材理学研究室 教授，林学博士

*** 北海道大学農学部木材理学研究室 助手

ラマツの樹幹形態に関する一連の研究¹⁾の中で、カラマツ樹幹の辺材部に数種の酸化剤を注入することにより同材部を化学的に着色せしめ、心材類似の色相を得た*。ZYCHA²⁾はブナの Rotkern の形成に関する研究の中で、ブナ樹幹の半径方向にせん孔をおこない、或る期間(1~3年)放置後伐採してその樹幹の辺材部に Rotkern 類似の Schutzholz が形成されたことを報告している。さらに新しくは、HART³⁾が傷害心材(Wound heartwood)の本質に関する研究の中で、数種広葉樹の樹幹にせん孔し、材に着色を起させている。

著者の一人である故矢沢教授は、心材の形成は一種の酸化現象であり、しかも空気による酸化が重要な役割りを演ずるものと考えた。もっともこの考えは新しいものではないが⁴⁾、上述のZYCHAの研究がその一つの支えとなり、また著者自身の、各種傷害心材とくにせん孔虫類のせん孔に基因するブナなどの星状偽心についての観察^{5),6)}によってそれがさらに確められた。そこで、立木樹幹に、樹皮から髓心に向うせん孔を行なって一定期間放置後その着色状態を観察する一連の実験が、主としてブナを対象に本研究の初期(1957~1958)に本州方面において、矢沢教授によって進められた。石田・大谷はその後この研究に参加したことになるが、著者らは、まず、北海道産針・広葉樹をその研究対象とし、やはり樹幹に単純なせん孔をおこなって、それらの辺材部における着色の発生についての観察を樹種を挙げ乍ら継続した^{7),8)}。さらにここ2~3年はせん孔方法にも検討を加え、また、せん孔した立木樹幹の辺材部に各種薬品・酵素処理を施し、あるいは酸素の補給をおこなうなどの実験手段を追加し^{9),10)}、さらに対象樹種材部についての水分^{11),12)}や菌接種状況などについても観察をおこなって、現象についての質的検討の段階に入りつつあった矢先に矢沢教授が亡くなられた。

本研究の本来のねらいは樹木における心材形成機構に関する基礎資料を得ることにあつた。すなわち、心材化現象の本質は酸化現象であつてとくに空気酸化の占める役割りを重視する観点に立ち、上述のような人為的な処理をおこなって、それを受ける樹木生体の直接的な応答を観察し、その機構解明の手がかりを得たいというものであつた。しかし、ここで形成される着色部は古くから傷害心材と呼ばれているものの一種であつて、正常な心材とは異なる点のあることは当然と考えられる。したがって正常な心材の形成に関する研究としては方法論的にも検討を要する点が多々あり、一方わが国においても、近年心材化の過程についての細胞学的研究^{13),14),15),16)}、樹木生化学的研究^{17),18)}、移行材部の諸問題についての研究¹⁹⁾など心材形成機構解明のための orthodox な方法による研究の成果が発表されつつあるので、ここで、一応、著者らの今までの研究結果の一部を整理検討して報告し、批判を得て今後の進展にそなえ度い。

この研究を進めるに当り岐阜大農学部樋口隆昌、深沢和三両氏、北大農学部宮島寛氏

* この研究の細部は未刊であるが、そのねらいは心材類似の色相材部の人工形成におかれていた。

などから厚意ある協力を得た。ここに特記して深謝する。また研究実施の場と格別の配慮を与えられた岐阜大農学部附属演習林, 北大農学部附属演習林当局に対し感謝の意を表す。また本研究の一部は文部省科学研究費(総合研究)によって進められたものである。

なお、本稿において“人工心材”なる語をしばしば用いているが、これはこの研究において供試樹幹辺材部に実験的に形成された心材様の着色部のことである。これは、樹木生理的に正常に形成された心材と全く同一のものとは考えられないが³⁾、心材なる語も、従来、普通には樹幹材中の着色の有無に関連して用いられていることに準じてこの語を用いることにした。

研究経過の概要と研究方法

上述の如く ZYCHA (1948), 大沢・平井 (1948) らは樹幹辺材部にせん孔するとその部分に着色が発生することについて簡単な報告をしており、一方またせん孔虫による半径方向などの細小なせん孔によりブナその他の樹幹にいわゆる星状偽心が形成されることが認められたので^{5), 6)}、傷害心材ないしは偽心材については勿論、さらには正常な心材の形成に関する知見をもうることを目的にして本研究の一連の実験がはじめられた。後述のように、実験的処置としては、生立木樹幹にせん孔してそれに対する立木の反応を待つと言う簡単な場合が多かったのであるが、その経過は概要次のとおりである。

せん孔処置した年	実験場所	対象樹種(概要)	処置(概要)
1957年	岐阜大位山演習林	ブナ	単純せん孔 (Fig. 1 参照)
1958	北海道道有林上の国事業区	ブナ	同上
1959~60	北大苫小牧演習林	カラマツ 外 15 種	同上
	北海道道有林上の国事業区	サワグルミ 外 4 種	同上
1963	北大苫小牧演習林	ヤチダモ 外 5 種	同上
1964	北大苫小牧演習林	カツラ 外 5 種	単純せん孔, 窓状せん孔, 酵素処理
	北大和歌山演習林	ケヤキ 外 5 種	単純せん孔
	岐阜大位山演習林	アカマツ	同上
1965	北大苫小牧演習林	ウダイカンバ, アズキナシ	単純せん孔, 無菌処理, 酵素処理, 酸素ガス供給

この研究のはじめから用いられてきた樹幹へのせん孔方法は、Fig. 1-b に示すとおりである。すなわち樹幹の胸高附近(時には地上高 1~3 m にわたる)に木工用ドリル或いは生長錐を用いて樹皮から髓心に向け、やや上向きに、心材部に達する数個のせん孔を行なった。内径は数 mm ないし 10 mm 位で、上記の単純せん孔とはこのせん孔の意味である。一部の実験においては Fig. 1-c に示すような窓状せん孔を行なった。何れの場合も、樹幹

の辺材部へ空気を流通導入させることが目的であるが、後者(窓状)は一部内方の辺材部と、そこから放射組織でつながる形成層部との連絡をそれによって絶つことを附加条件とする。

せん孔はおおむね6~7月頃におこなわれ、そのままの状態ですべて1生長期間放置された。その後、すなわちその年の秋から初冬の頃に供試立木を伐採し、せん孔附近材部における着色の発生状況を、その拡がり、色調などについて調べた。

1964, '65の両年は北大苫小牧演習林において、それまでのように、単にせん孔して放置した後に着色状況を観察するというのではなく、可能な限り無菌の状態下でせん孔辺材部の酸化を促進し、着色生起状況を観察する実験をおこなった。'64年にはそのための予備実験、'65年にはやや進展した実験をおこなったので、ここでは主として'65年の実験方法について述べる。供試樹種はウダイカンバとアズキナンで、せん孔部を無菌状態にするため前もってドリル類と供試木のせん孔位置の樹皮部を80%エチルアルコールを以て十分消毒し、然る後上述の方法にしたがってせん孔し、せん孔部をさらにアルコールで十分消毒した。その後各種の所要な薬品処理をおこない、滅菌した硝子綿で綿栓した。同一樹幹に幾種類かの処置をした多くの供試せん孔が地上高数m附近までに分布したので、その

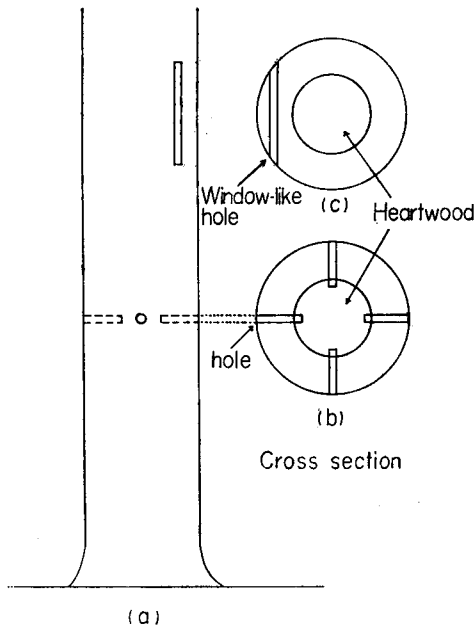


Fig. 1. Method of making holes (b) or window-like opening (c) in a standing tree trunk (a). Each round hole in (b) reaches into ordinary heartwood. Window-like opening in (c) was made for separating sapwood into two parts, the inner and the outer, and for cutting off the translocating of materials through the wood rays from the cambium zone to the inner part of sapwood.

十分消毒し、然る後上述の方法にしたがってせん孔し、せん孔部をさらにアルコールで十分消毒した。その後各種の所要な薬品処理をおこない、滅菌した硝子綿で綿栓した。同一樹幹に幾種類かの処置をした多くの供試せん孔が地上高数m附近までに分布したので、その

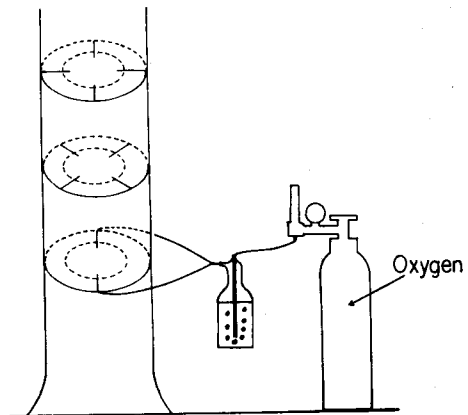


Fig. 2. Schematic drawing of arrangement of the apparatus for making sure oxygen gas supply into an Udai-kanba test trunk. It also shows relative position of holes in case of different heights in intervals of ca. 40-60 cm at each of which boring holes were situated.

部分を、通気をそこなわないように注意しながらビニールシートで被った (Fig. 2, Photo 1)。各供試せん孔には1カ月毎にアルコール消毒を繰返し、綿栓を交換し、また同時に各種処理を繰返した。一部のせん孔には木材防腐剤 P.C.P. 処理を行なった。

'65年度に酸化促進のためにとられた処置は、1) パーオキシダーゼ+過酸化水素、2) 酸素ガス供給 (ウダイカンバのみ) であり、前者では毎回、各せん孔あたりパーオキシダーゼの0.1% 溶液約1cc づつが過酸化水素水とともに噴霧された。酸素は、Fig. 2, Photo 1に示されるようにウダイカンバ供試木のそばに置かれた液体酸素ボンベから減圧弁を通じて、2ヶの供試せん孔に内径1.5mmの細管によってガス体として導入された。せん孔入口付近における細管の周囲は消毒綿栓で塞がれた。実験期間 (7月上旬~10月下旬) 中に2つのせん孔のために消費されたガス体酸素量は約2,500ℓであった。

研究結果と考察

I. 人工心材形成における樹種特性

立木樹幹に単にせん孔をおこない、特別の処置を追加することなく一定期間放置した後、伐採して着色状況を観察する実験は1957年から'64まで行なわれ、その供試木は30余樹種、約50本に及んだ。各供試木毎に、着色すなわち人工心材形成の程度を一括して概略的に掲げれば Table 1 のとおりである。

実験の結果を Table 1 を参照しながら概観するに、実験に供されたすべての樹種に、ここに言う人工心材が形成された。針葉樹ではスギ、カラマツ、アカマツ、ドイツトウヒがとり上げられたが、前三者には着色部が、後者には熟材様の材部がそれぞれの辺材中に形成された。広葉樹では、供試樹幹部位に心材のないものもあったが、そのような場合でも着色は発生した。しかし人工心材形成の程度は樹種によってことなり、ブナ、シラカンバ、ウダイカンバ、ケヤマハンノキなどが最も著しく、シナノキ、エゾイタヤなどがこれにつぎ、ホオノキ、カツラ、ハルニレ、ヤチダモ、アズキナシなどにもよく発生した。ハリギリ、キハダではその形成の程度が低かったが、両樹種とも供試木の辺材がせまかった。

以下供試樹種毎に人工心材の形成状況について概説する。

1. **スギ** は着色発生の顕著な樹種ではないと考えられるが、Photo 4 は2生長期にわたる人工心材形成期間を経たものであり、濃い着色を示した。このことはスギに限ったことではなく、一般に処置期間が長い程着色が著しくなる傾向がみられた。スギ人工心材の周辺には白線帯様の材部が形成された。

2. **カラマツ** に関しては、すでに大沢・平井が、その枝打ちなどの傷害による局所的な心材化現象について述べ、又生長錐せん孔により部分的な濃い着色の発生することを報

Table 1. Artificial heartwood formation in various species

	Tree species	Diameter B. H. cm	Height m
Buna	<i>Fagus crenata</i> BL.	30	
Sugi	<i>Cryptomeria japonica</i> D. DON	19	14
Ezo-itaya	<i>Acer mono</i> MAXIM. var. <i>glabrum</i> HARA	29	15
Sawa-gurumi	<i>Pterocarya rhoifolia</i> SIEB. et ZUCC.	30	
Tochi-no-ki	<i>Aesculus turbinata</i> BL.		
Kara-matsu	<i>Larix leptolepis</i> GORD.	20	18
Shira-kanba	<i>Betula platyphylla</i> SUKATCH.	18	16
"	"	24	18
Yama-momiji	<i>Acer palmatum</i> THUNB. var. <i>matsumurae</i> MAKINO	26	16
"	"	32	22
Shina-no-ki	<i>Tilia japonica</i> SIMONKAI	40	19
Hô-no-ki	<i>Magnolia obovata</i> THUNB.	23	15
Asada	<i>Ostrya japonica</i> SARG.	20	16
Katsura	<i>Cercidiphyllum japonicum</i> SIEB. et ZUCC.	18	15
Azuki-nashi	<i>Sorbus alnifolia</i> C. KOCH	8	9
Hari-giri	<i>Kalopanax pictus</i> NAKAI	10	11
Ao-damo	<i>Fraxinus sieboldiana</i> BL. var. <i>serrata</i> NAKAI	12	10
Ke-yama-han-no-ki	<i>Alnus hirsuta</i> TURCZ.	20	13
Yachi-damo	<i>Fraxinus mandshurica</i> RUPR. var. <i>japonica</i> MAXIM.	20	14
Aka-shide	<i>Carpinus laxiflora</i> BL.	16	12
Koshi-abura	<i>Acanthopanax sciadophylloides</i> FRANCH. et SAVAT.	14	15
Kihada	<i>Phellodendron amurense</i> RUPR.	16	14
Shiuri-zakura	<i>Prunus ssiori</i> FR. SCHEM.	8	11
Mizu-nara	<i>Quercus crispula</i> BL.		
Yachi-damo	<i>Fraxinus mandshurica</i> RUPR. var. <i>japonica</i> MAXIM.	20	15
Haru-nire	<i>Ulmus davidiana</i> PLANCH. var. <i>japonica</i> NAKAI	21	14
Mizu-nara	<i>Quercus crispula</i> BL.	20	12
Katsura	<i>Cercidiphyllum japonicum</i> SIEB. et ZUCC.	17	10
Udai-kanba	<i>Betula maximowicziana</i> REGEL	21	13
Hô-no-ki	<i>Magnolia obovata</i> THUNB.	19	13
Azuki-nashi	<i>Sorbus alnifolia</i> C. KOCH	20	12
Doitsu-tô-hi	<i>Picea abies</i> KARST.	20	18
Shina-no-ki	<i>Tilia japonica</i> SIMONKAI	22	17
Shira-kanba	<i>Betula platyphylla</i> SUKATCH.	18	13
Udai-kanba	<i>Betula maximowicziana</i> REGEL	22	16
Katsura	<i>Cercidiphyllum japonicum</i> SIEB. et ZUCC.	20	15
Azuki-nashi	<i>Sorbus alnifolia</i> C. KOCH		
Aka-matsu	<i>Pinus densiflora</i> SIEB. et ZUCC.	20	10
"	"	20	10
Keyaki	<i>Zelkova serrata</i> MAKINO	27	14
Kuma-no-mizu-ki	<i>Cornus macrophylla</i> WALL.	13	8
Tsubura-jii	<i>Castanopsis cuspidata</i> SCHOTTKY*4	16	9
Kusu-no-ki	<i>Cinnamomum camphora</i> SIEB.*4	13	8
Rin-boku	<i>Prunus spinulosa</i> SIEB. et ZUCC.*4	27	9

*1. + : Ordinary heartwood existed at the trunk part studied. - : No ordinary heartwood

*2. Artificial ripe-wood

*3. Ripe-wood

*4. Ever green broad-leaved tree *5. In Honshu *6. In Hokkaido Island

of forest trees in Japan, esp., in Hokkaido (1957-65).

Age year	Artificial heartwood	year of treating	Locality	Ordinary heartwood	Photograph number in Appendix
34	冊	1957	岐阜大位山演習林*5	+*1	2, 3
	+	1959	北海道道有林上の国事業区*6	+	4
	冊	"	"	+	5
	冊	"	"	-	6
	"	"	"	+	
37	+	1960	北大苫小牧演習林*6	+	7
28	冊	"	"	-	
	冊	"	定山溪国有林*6	+	8
115	+	"	北大苫小牧演習林*6	+	9
115	冊	"	"	+	
160	冊	"	"	+	10
58	冊	"	"	+	11
53	冊	"	"	+	12
50	冊	"	"	+	13
42	冊	"	"	+	14
38	+	"	"	+	15
65	冊	"	"	-	16
40	冊	"	"	+	18
32	冊	"	"	+	17
42	冊	"	"	-	19
48	冊	"	"	+	20
50	冊	"	"	+	21
45	冊	"	"	+	22
	冊	1963	"	+	
	冊	"	"	+	28
	冊	"	"	+	
	冊	"	"	+	
	冊	"	"	+	29
	冊	"	"	+	
(45)	冊	1964	"	+	
40	+*2	"	"	+*3	26
	冊	"	"	-	
	冊	"	"	-	
	冊	"	"	+	
	冊	"	"	+	
	冊	1965	"	+	
27	+	"	岐阜大位山演習林*5	+	
22	+	"	北大和歌山演習林*5	+	27
50	冊	"	"	+	30
28	冊	"	"	-	31
44	冊	"	"	+	32
42	冊	"	"	+	33
56	冊	"	"	+	34

existed.

告している¹⁾。筆者らの実験においても着色は認められたが (Photo 7), スギに比べるとその程度が低かった。とくにカラマツではせん孔部位に樹脂が流出して固まり, 孔を閉塞する傾向があり, このことが着色形成の広さに何らかの関係を持つたかも知れない。樹脂流出による孔口閉塞については W. H. MEYER²²⁾ らが Douglas fir に関し略々このカラマツの場合と同様のことを述べている。

3. **ドイツトウヒ** ではせん孔によってスギ, カラマツなどのようなはっきりした着色部が, その辺材部にも, 熟材中にも形成されず, 辺材のせん孔部周辺に Photo 26 に示すような天然の熟材類似の材部が形成された。この写真のせん孔番号 1, 3, 5, 6 などに, 辺材とことなり, 内方の熟材に近い色調の材部が明らかに認められる。これらの材部の含水率は辺材よりもはるかに低く熟材部に近い。したがって, この材部はドイツトウヒにおける人工心 (熟) 材と呼ぶるものであろう。後述するように, 広葉樹では, 通常あるいはまれにしか心材ないしは偽心材の形成がみられない樹種 (アカンデ, トチノキ, クマノミズキ*) においても明らかな人工心材が形成されるのに対し, 熟材樹であるドイツトウヒでは着色が起らず (せん孔に極めて近接した材部は樹脂流出により着色した), 熟材様の材部が形成されることは興味あるところである。

4. Photo 27-a は **アカマツ** 供試木 (和歌山演習林) から取った円板を示し, 中央部に正常な心材があり, せん孔による心材類似の着色部がせん孔の上下方向辺材中に発生した。ただしせん孔そのものの内部並びにそれに極めて近接した材部には主として樹脂の溢分泌によるとみられる濃い着色が起った。これらは写真にみられるように垂直樹脂道の多い秋材部に著しい。しかしせん孔から 5~10 cm ほど離れると着色は淡くなり, この写真ではかえって辺材部より明るい, 乾燥した材部がみられる。Photo 27-b には, 心材をそれて, 年輪に接線状にあげられた 2 つのせん孔部から 10 cm 上方の位置に現われた人工心材を示す。

5. **ブナ** については, いわゆる偽心材の人工的形成を目標に, 1957 年以来岐阜大学位山演習林, 北海道道有林上の国事業区 (北海道檜山支庁管内) において, すでに 10 余本の供試木について実験が重ねられたが, Photo 2, 3 に示すようにその横断面において (またその縦断面においても) 広い拡がりをもつ濃い着色, すなわち人工偽心材が形成された。写真の横断面は何れも略々せん孔位置の高さのものであるが, 着色は上下両方向にかなり伸長しその伸びは辺材の内方にゆくにつれて著しくなっている。この長さは一生長期間に数十種に達する場合が多い。

Photo 24 に, ブナ供試樹幹の縦断面 (証目) において人工偽心材が天然の偽心材部に

* クマノミズキについては胸高直径約 15 cm までの立木樹幹, 略々同直径の丸太などを観察したが着色心材はなく, 内方に, 針葉樹における熟材様の材部が存在した。

Table 2. Axial length of artificial heartwood of a Buna-tree trunk with regard to distance from the ordinary heartwood periphery outward.

Boring height above the ground (m)	Mark of the hole	Distance from the ordinary heartwood periphery outward (cm)	Length of artificial heartwood from the hole (cm)		
			upward	downward	total
1.4	A	8.5	2.5	2.0	4.5
		7.0	4.5	5.0	9.5
		4.0	15.5	13.5	29.0
		1.0	29.0	35.0	64.0
	B	8.5	—	1.5	1.5
		7.0	1.0	2.6	3.6
		4.0	15.0	5.5	20.5
		1.0	25.5	24.0	49.5
	C	8.5	3.0	1.5	4.5
		7.0	5.5	4.0	9.5
		4.0	23.0	9.0	32.0
		1.0	50.0	35.5	85.5
1.8	A	8.5	2.0	9.5	11.5
		7.0	4.0	9.5	13.5
		4.0	7.0	15.5	22.5
		1.0	15.7	18.6	34.3
	B	8.5	2.5	3.3	5.8
		7.0	2.5	3.6	6.1
		4.0	15.4	14.0	29.4
		1.0	14.0	10.5	24.5
	C	8.5	2.5	3.5	6.0
		7.0	3.6	3.5	7.1
		4.0	7.4	7.5	14.9
		1.0	15.0	14.5	29.5

近づくとつれ上下方向に長くなってゆく模様を示し、また Table 2 にその長さの分布の一例を示す。Photo 25 は同様な事実を板目面の状況によって示すもので、1 が樹皮側、5 が偽心材に最も近い位置である。ここでは単に上下方向の長さが増すのみならず接線方向の長さ(幅)をも増すことがわかるが、このことは横断面(Photo 2)からも認められるところである。

6. エゾイタヤ (Photo 5) は着色にやや敏感な樹種と判断されたが、同属の ヤマモミジ (Photo 9) はそれほどでなかった。Photo 9 の矢印はせん孔虫による着色。△は実験せん孔による着色である。

7. サワグルミ は一般に着色心材のない樹種であるが、本供試木(胸高直径 30 cm)に

も心材はなかった。しかし明らかに人工心材の形成が認められ、3生長期を経過した本供試木には Photo 6 に示すような濃い着色が発生した。Photo 6 からわかるように、せん孔した年の次年以降に形成されたせん孔部癒着材には着色が全く起っていない。このような事例は多くの樹種において一般に認められる。**トチノキ**も3生長期経過したものについて観察した。トチノキは普通着色心材を形成しない樹種とされているが本供試木では、サワグルミと同様に濃い着色を示した。

8. **シナノキ**は着色の大きな拡がりを示す樹種ではないが、反面、りんかくのはっきりした人工心材を形成することが多い (Photo 10)。人工心材はその部分における心材の有無に関係なく形成される。本樹種では繊維交錯による複雑な着色分布がみられた (Photo 40)。

9. **ホオノキ**も比較的着色が発生し易いが、Photo 11 の左側円板の A からわかるように、せん孔した位置 (地上高) を上下方向に離れると上述のブナの場合とはことなり着色は却って心材部から離れ、辺材中に孤立することがある。このことは他の樹種においてもしばしば認められる。右側円板の濃い着色部は人工的せん孔によるものではなく、恐らくは鉋のような刃物で、写真の黒い三角形の部分の左側の一辺 (矢印) に沿って、幹軸方向に材部がけずられたために形成された着色で、いわゆる傷害心材の一種である (トドマツについての一例²⁰⁾を参照のこと)。

10. Photo 12 は **アサダ**の人工心材を示す。2枚の円板のうち右側のものは左のものよりも実験期間が約1カ月長く、着色も著しい。アサダはかなりはっきりした白線帯のあらわれる樹種であるが、両円板とも天然心材周辺 (矢印1) ならびに人工心材縁辺 (矢印2) に部分的にそれがみられる。

11. **カツラ** (Photo 13) には、シナノキと同様にりんかくのはっきりした着色が形成される傾向がある。Photo 13 の左の円板はせん孔部から若干離れた位置からとられたものであるがどの着色部も屈曲している。これはシナノキと同様に繊維のねじれ、交錯に基因するもので、この点については後述する。

12. Photo 14 に **アズキナシ**の人工心材の一例を示す。この場合はアズキナシとしてはかなり著しい着色を示した。アズキナシは既報¹⁹⁾のとおり典型的な白線帯をもつ樹種であるが、一方人工心材の上下方向への伸長状況は、上述のホオノキの場合の如く、必ずしも辺材の最内側すなわち白線帯部附近において最強とはならず、したがって、人工心材の上下両端部附近は、心材をはなれて辺材中に孤立することがしばしばみられる。

13. **ハリギリ** (Photo 15) は **キハダ** (Photo 21) とともに筆者らによる実験の中では、人工心材の形成が顕著でない樹種の代表的なものであった。両者とも、一般的に辺材幅のせまい樹種と考えられる。上述のカラマツの場合に類似する。

14. **アオダモ** (Photo 16) は、同樹種として径級大なる場合には本来の心材が形成されるが、腐朽を伴う場合が多く、心材をもった好適な供試木がなかなか得られない。本供試木には心材がなかったが人工心材は明らかに形成された。同属の**ヤチダモ** (Photo 17) には、普通に天然の心材が出現するが、人工心材もよく形成される。

15. Photo 18 は**ケヤマハンノキ**の人工心材を示す。衆知の如くハンノキ類の新鮮な材部は空気に触れることにより速やかに、著しく着色されるが、人工心材の形成も顕著であり、ブナ、カバ類などに匹敵する。

16. 供試**アカシデ**には心材がなかったが濃い着色が形成され (Photo 19)、**コシアブラ**にも略々同程度の着色がおこった (Photo 20)。

17. Photo 22 に**ミズナラ**の人工心材を示す。Photo 28 の**ハルニレ**と同様やや著しい人工心材を形成するが写真からもわかるように、後者では人工心材の幅が辺材の内方でかなり広がる傾向がみられた。ミズナラ供試木については、やや異なったせん孔法が同時に試みられた。すなわち、辺材中に、或は一部心材を貫通して反対側辺材にぬける水平方向のせん孔が、年輪に接線状におこなわれたが何れの場合も1生長期中に人工心材の形成がみられた。Photo 23 に心材を貫通したせん孔による着色を示す。

18. Photo 30 は**ケヤキ**のせん孔部近くに形成された人工心材を示す。北大和歌山演習林において4月にせん孔して11月に伐採したものであるが、著しい人工心材の形成が起り、材のやや湿潤な状態で、写真に示すような正常心材より濃い着色がみられた。せん孔の開孔部は新しい癒着組織で被覆され、またその開孔部から上下方向に若干離れた位置でも異常肥大生長が起っている (写真矢印)。しかし、この新生組織には全く着色が認められない。このような事実は上述の如く他の樹種においても認められた。

19. 供試樹種中クスノキ、ツブラジイ、リンボクの3種は常緑広葉樹である。**クスノキ**は暗褐色の心材を持つ樹種であるが、せん孔によって非常に濃く、辺材内側部で最も広く長い、しかもりんかくのはっきりした人工心材を形成する (Photo 33)。一方**ツブラジイ**も人工心材を形成するが、着色の程度はその心材相応で、クスノキに比べてはうすく、そのりんかくも心・辺材の境界と同様にあまり明らかなでない (Photo 32)。**Prunus**属の**リンボク**は同属のエゾヤマザクラ (落葉樹)と同様にはっきりした白線帯を示すことがある。広い辺材中に写真 (Photo 34) のようにりんかくのはっきりした濃い人工心材を形成する。写真は穿孔位置から5 cm 上方のものであるが、本供試木では穿孔が心材にまで達していなかったことと、恐らくは辺材外周部は内方に比べて着色しにくいことから着色部が辺材中に写真のように孤立している。

II. 人工心材の形成における若干の一般的事項

以上、1957年以來、単純な穿孔を立木樹幹に施し、一定期間放置した後伐採して人工

心材形成状況を調べるという方法によって進めてきた実験の結果を、樹種別に、写真を参照しながら概説した。以下さらに、若干の一般事項について述べる。

1. 樹幹内における人工心材のひろがり

上述の方法によって形成される人工心材の樹幹内での拡がりの状態については、ブナ (Photo 24) その他の樹種について簡単に触れておいた。上述のブナ供試木では着色は辺材の内方へゆくにつれ、穿孔の上下方向への伸びの長さが大きくなり、同時に接線方向の長さも大きくなる傾向がみられた。

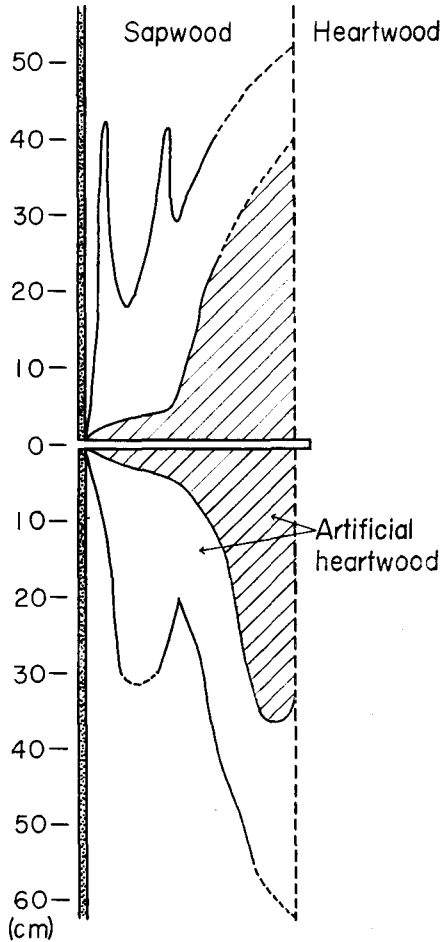


Fig. 3.

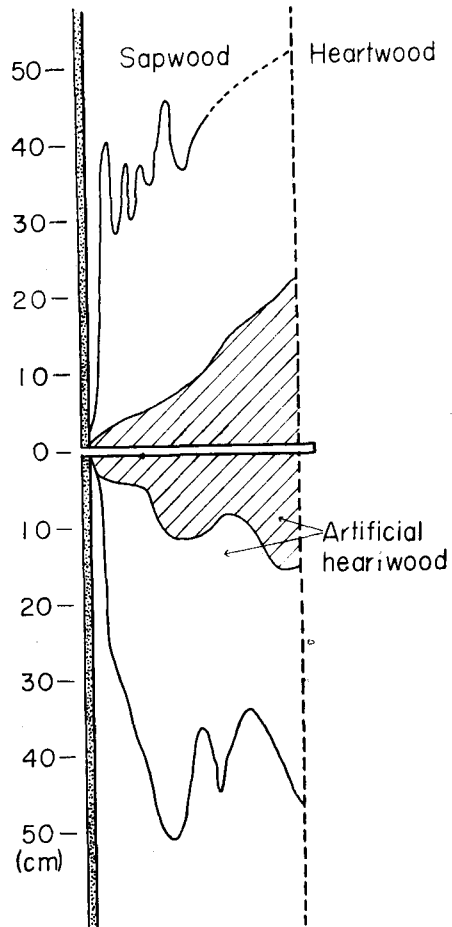


Fig. 4.

Figs. 3 and 4. Longitudinal radial sketch of the artificial heartwood through the boring hole in Udai-kanba test trunk. Two different kinds of color tone were often appeared, dark grayish brown wood (illustrated by oblique lines) and light brown surrounding it as shown in the both figures. Some irregular, isolated extension of discoloration in sapwood can be seen in the figures.

この傾向は試験に供した多くの樹種について観察された。ブナのほかウダイカンバ (Photo 29), カツラ, シナノキ, ハルニレ, ヤチダモ, スギ, ドイツトウヒ (熟材) などとその典型的な事例が認められた。しかし, これらの樹種においてもこの事例からはずれる場合もすくなくなく, また二, 三の樹種たとえばアズキナツ, ホオノキなどでは, 穿孔に近い位置では辺材の内方で, 濃く, 広い着色がみられたとは言え, 穿孔位置から, 上下方向に離れた位置では辺材最内部から樹皮方向にはずれた位置にかえって濃い着色が現われる傾向がみられた。このような場合には着色が辺材部に孤立して出てくることになる。

Fig. 3, 4はウダイカンバ, Fig. 5, 6はカツラについて樹幹内における着色の拡がり状況をそのせん孔部を含む柁目面への投影図として示したものである。Fig. 3, 4は酸素補給 (12~13頁および Photo 1 など参照) を行なったウダイカンバの2つの穿孔 (No. 9, 10)

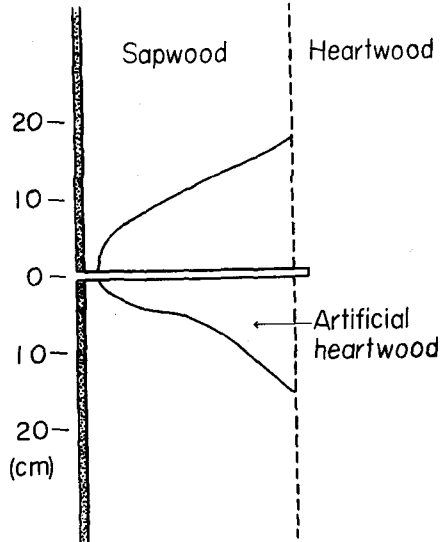


Fig. 5.

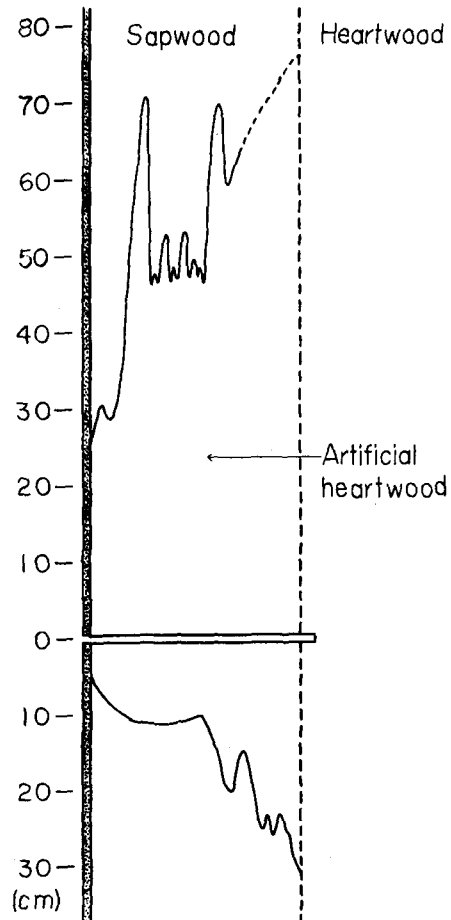


Fig. 6.

Figs. 5 and 6. Typical effects from the boring treatment of Katsura, in regard with distribution of discoloration (artificial heartwood) within sapwood in longitudinal radial section through the hole. Irregular longitudinal extension of the artificial heartwood is remarkable in the case of fig. 6, while in fig. 5 the artificial heartwood is more gradually elongated with decrease of distance from the periphery of ordinary heartwood.

による着色状態を示すもので、両者とも着色の濃度を2段階にわけることができた (Photo 35 参照)。せん孔 No. 9 (Fig. 3) では濃淡両材部とも、辺材の外側から内方心材側に近づくにつれてその拡がりが大きくなる。この傾向は No. 10 の濃い部分についてはより明白である。No. 10 の淡色部は辺材のかなり外部からすでに著しい上下方向の拡がりをみせており No. 9 とは若干趣を異にしている。両せん孔部とも淡色の着色部は部分的には上下方向に伸長し、このような場合横断面では辺材部に孤立した着色の点として現われる。一方、Photo 35, 36 はウダイカンバ供試木の一せん孔高附近 (Photo 35) 及びその点から約 100 cm 上方 (36) の横断面の写真であるが、正常心材 (矢印 1) の外周をとり巻いた人工心材 (矢印 2) の形成状況がみられる。前者の場合関連するせん孔はその地上高に 4 個、さらに 40 cm 離れた位置に 4 個ありそれらによる人工心材は辺材内方部で、接線方向、上下方向により広く、より長く形成されたもので、結局写真のような状態になったものである。後者はせん孔位置からかなり離れた位置の状態を示すが、正常心材周辺をとりまいている人工心材の状況がみられる。結局、ウダイカンバの人工心材は外側から正常心材に近づくにつれ軸方向、接線方向ともに大きな伸びをみせることになる。シラカンバ、ブナなども略々同様である。

Fig. 5, 6 はカツラの例である。Fig. 5 では極めて明白に、辺材内方部で着色が上下方向に、より著しく伸長するのがわかる。Fig. 6 でも、大まかな傾向は変わらないが部分的に、辺材内部に孤立した著しい上下方向の伸長がみられ、Fig. 5 の例に比べてかなり複雑である。本樹種はウダイカンバなどと違って心材に近い辺材部においても人工心材の接線方向への拡張はあまり著しくなかった。ZYCHA は上掲論文²⁾において、単純なせん孔によって形成された着色部の樹幹内における拡がりを観察し、辺材部内方へ行くにつれて着色部は軸方向により長くなるが、後にかえって減小することを図示している (同論文 100 頁 Abb. 10)。何れにしても、このような単純な実験における大きな傾向として、着色が辺材の内方へゆくにつれて顕著になることが多いことから、一般的には然るべき何らかの Anlage がすでに辺材内方部に存在するものと考えられる。一方、辺材中に孤立的に上下方向に伸長する着色については、特殊な水分条件、木材組織的条件その他が関与するものと考えられる。

2. 生長休止期における着色の生起

筆者らの人工心材の形成実験では上述の如く、多くの場合、春から初夏にかけて樹幹にせん孔し、1 ないし若干の生長期を経過した後には伐採し、観察を行なった。そこで生長休止期すなわち冬季間には全く着色が形成されないものかどうかを確かめるための実験をシラカンバを供試木としておこなった。北大苫小牧演習林において 11 月下旬にせん孔、翌年 3 月上旬に伐採して観察したところ着色は全くみられなかった。シラカンバは上述の

ように (Photo 8) 最も着色の起り易い樹種の一つであるので、苫小牧演習林では冬季間人工心材の形成は全くみられないものと看做される。

3. 繊維走向と人工心材の伸長方向

せん孔位置から上下方向への着色の伸長はその組織要素の方向に沿って起ることは当然考えられるところである。組織要素が幹軸に平行な樹幹においては、着色は、接線方向への或る拡がりをもちながら、ほぼ、せん孔部の直上、直下に伸長し、従って着色の樹幹内分布は単純である。これに対しねじれ生長をした樹幹或は交錯木理のある樹幹では、せん孔部から離れるにつれ、複雑な着色のパターンが現われる。その最も典型的な例としてカツラの人工心材の写真 (Photo 37, 38, 39) を掲げる。

これらの写真は、直径約 20 cm の供試樹幹部に Fig. 1 に示した方法で幹軸方向に 30 cm の間隔でせん孔 (それぞれの高さの位置に 4 個づつ) し、人工心材形成後伐採し、そして各々のせん孔位置の近くから切り取られた円板を示す。円板 No. 20 は最上部、No. 30 は最下部である。例えば、せん孔 No. 17 或は 18 による着色は、それらのせん孔位置に一番近い円板 No. 30 では半径方向に直線的であるが、約 30 cm 上方の円板 No. 25 においては、両者とも写真のように著しく屈曲し、円板 No. 20 ではさらに複雑な屈曲を示している。円板 No. 30 における No. 21 のせん孔 (このせん孔はこの円板の下方 30 cm の位置でおこなわれた) による着色もこのようにして説明され、さらに円板 No. 25 附近で行なわれた No. 13 のせん孔による着色と円板 No. 20 におけるその着色との関係も同様に説明される。結局これらの屈曲から、本供試樹幹の、この部分における繊維のねじれは、心材の外縁を基準にして考えると、そのすぐ外側では Z、さらにその外側では S、最外側では再び Z であることがわかる。カツラでは、ねじれが、半径方向にほぼ、連続的に変化したが、シナノキでは Photo 40 に示す No. 9 の着色 (せん孔) (せん孔位置はこの断面より僅かに数 cm しか離れていない) からわかるように、しばしば不連続な変化をみせた (矢印 1)。

4. 人工心材と人工白線帯の形成

辺・心材の境界附近に辺材から心材への移行的性質を示す材部すなわち移行材或はその外観から白線帯とも呼ばれる材部の存在することはすでに知られているところであり、その、主として広葉樹についての著者らの研究結果についてはすでに報告した¹⁹⁾。この白線帯は、勿論正常な辺・心材境界部に出現するものであるが、本研究において、外観的にはそれと同様のものが人工心材の周辺においてもしばしば出現することがわかった。その最も典型的な例はアズキナシにおいてみられ、ウダイカンバ、エゾイタヤなどにもしばしばあらわれた。

Photo 41 はアズキナシの単純せん孔処理を受けた樹幹部から切り取られた円板で、せ

せん孔位置から約 5 cm 下方の断面を示す。正常心材をとりまく明らかな白線帯から放射状にのびる 3 本 (4, 5 及び 7) の人工心材がみられるが 7 には着色が全くない。4, 5 においても着色の周辺には 7 と同様の明色部がある。これらの明色部は自然の白線帯とその色相において全く同種のものであり、含水率もまた自然の白線帯に近い値を示し、人工心材、辺材のその中間の値を示した。従って、ここではこの明色部を人工白線帯と呼ぶことにする。上述写真の 7 には人工白線帯しかみられないが、そのせん孔位置に近づくにつれて着色が現われてくる。すなわち人工白線帯はせん孔によって生じた着色部をとり巻き、とくに上・下方向 (幹軸方向) では着色に先行して著しく長く伸びる傾向がある。辺材→人工白線帯→人工心材の位置的な相対関係を辺材→自然白線帯→自然心材のそれに比べると、Fig. 7 に示すとおり、両者は全く同様であり、またその含水率分布の相対関係も類似するので、この両系統の間、言いかえれば、ここに言う人工心材の形成と、正常心材の形成との間に何らかの機構的類似性があるものと考えられる。

このことはまた、次に示すような別におこなった人工心材並びに人工白線帯形成の季節的経過に関する観察の結果からも明らかである。アズキナシの立木 4 本を供試木とし、7 月 1 日にせん孔、8 月 10 日に第 1 回目 (供試木 No. 1 を伐採)、9 月 9 日に 2 回目、9 月 24 日に 3 回目、11 月 19 日に 4 回目の伐採調査を行なった。各供試木の、それぞれ、5 せん孔ずつについての人工白線帯、人工心材の長さの平均値として、第 1 回目 38 cm (人工白線帯)、0 cm (人工心材)、第 2 回目 33, 8 cm、第 3 回目 52, 11 cm、そして第 4 回目 62,

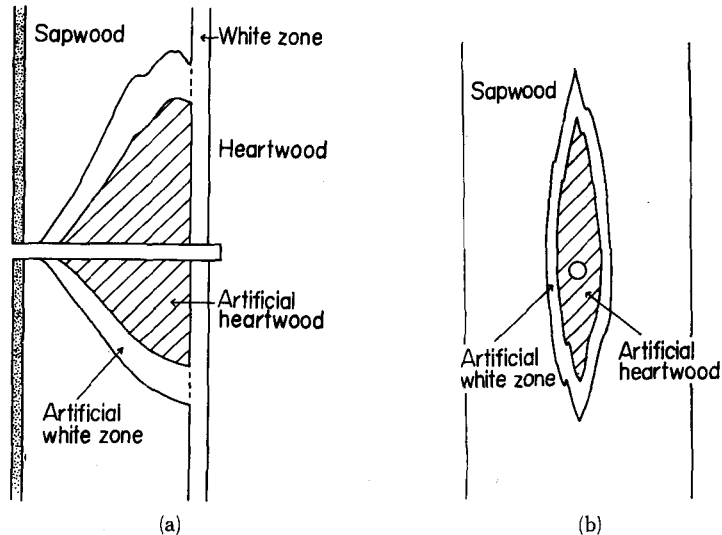


Fig. 7. Relative distribution of the artificial white zone, the artificial heartwood, the ordinary white zone and ordinary heartwood of Azuki-nashi trunk, illustrated in axial radial (a) and in axial tangential section (b). Artificial white zone always existed ahead of the artificial heartwood in the species.

33 cm が得られた。供試木個体の相異から、第 2 回目の人工白線帯が第 1 回目のそれよりも短い、常に人工白線帯の形成が人工心材に位置的に先行していることがよくわかる。とくに第 1 回目調査はせん孔後 40 日目に行なわれたが、すでに長い白線帯部が視覚的に認められたところから、かなり早期に白線帯形成が始まるものと考えられる。正常樹幹において、辺・心材の境界部に存在する白線帯 (移行材) は心材形成に対し重要な生理的意義を持つものと考えられるが、人工心材の形成に先行する人工白線帯の役割りもこれに対応するものとみられる。このことは、逆に、人工心材形成と天然心材形成との機構的類似性の存在を示すものと考えられる。

5. 人工心材中における菌糸の存在

本実験におけるような、樹幹材部のせん孔は各種の木材変色、腐朽菌接種の拠点となりうることは当然考えられるところである。しかも一度菌の接種が行なわれれば、それによる材の変色、着色の起ることも当然考えておかなければならない。そこで本研究の初期段階において、この点についての簡単な検討がおこなわれた⁶⁾。すなわち、人工的に形成されたブナの偽心材中の菌糸の有無に関して検鏡されたがその存在は確認されなかった。そこでその接種の可能性は是認しながらも、積極的にはその防止手段を講じないままに既述のような実験を進めてきたわけである。そして 1963, '64 年の実験によって作られた人工心材を対象に詳細な観察をおこなったところ、カツラ、シナノキなどには各種形態の菌糸の存在することが認められた*。すでに述べたように、とくにこの両樹種には輪郭のはっきりした着色部が形成され、その縁辺が腐朽菌による帯線類似の様相を呈することがあるが (例えば Photo 40 の矢印 2)、このような着色材部ではしばしば菌糸が観察された。しかしこのような場合でも、菌糸確認の頻度は高いものではなく、他の着色材部では、それぞれの位置におけるその確認のできない場合が多かった。もっともこのことから、その位置の材の着色は菌の作用に全く無関係であるとは言いがた²¹⁾、さらに検討しなければならない事項である。Photo 42 はシナノキの人工心材縁辺の濃い着色材部にしばしば認められる菌糸の一種であるが、その種は未確定である。

菌の存在がこのようにして確認されたので、筆者らが従来人工心材と称してきた着色の発生には諸種の木材変色、腐朽菌が関与したことがある事は否めない。然し乍ら、すべての着色が菌によるものとは勿論結論できないので、III に述べるようにせん孔材部を無菌状態に保持しながら諸処理をおこない着色生起についての観察を続けた次第である。

6. その他

窓状せん孔実験は、上述のとおりカツラとシナノキについて進められた。窓の高さ (幹軸方向の長さ) は 10~15 cm で、辺材中の放射組織の内外方向の連絡をこの位置で絶

* 菌種の確定は行なわなかった。

つには十分の高さであったと考えられる。着色は開口部の両側の辺材部（樹皮側と心材側）に略々均しく、それぞれ独立に発生した。このことは、正常心材中にみられるポリフェノール類の前駆物質が形成層附近で形成され、内方へ転移するとの説の検討に寄与するものと考えられる。

着色材部を光学顕微鏡下で観察すると、一般的には、主として放射組織その他の柔細胞中に、各種形態の着色物質の沈着がみられる。また、広葉樹材の場合、しばしば道管壁や道管の穿孔板附近、針葉樹材では仮道管壁における沈着がみられる。Photo 43 はシナノキの着色材部組織の写真で、放射組織柔細胞中の著しい着色物質がみられる。Photo 44 は正常辺材放射組織の状態である。

III. 各種処理と人工心材の形成

せん孔は単純せん孔のみ。せん孔部の無菌保持処理をしながら酸化促進のためパーオキシダーゼ（+過酸化水素）処理と酸素ガス補給処理をおこなった。実験方法にもなお問題があり検討中なので、ここでは一部結果の報告に止める。

1. 結果の概要

着色部における菌糸の有無、その分布についての観察結果の一部を Fig. 8（ウダイカンバ供試木 No. 2）に示す。また処理条件と、人工心材の幹軸方向への拡がり状況（アズ

Table 3. Axial extension of the artificial heartwood with regard to the

Treatment	Hole	Axial extension of				
		Udai-kanba No. 1			Udai-kanba	
		Upw.	Downw.	Total	Upw.	Downw.
Alcohol, Ethyl, 80%	No. 1	80	45	125	40	50
	5	80	25	105	35	45
	Avg.	80	35	115	38	48
Alc.+P.C.P.	No. 2	40	40	80	45	45
	6	20	20	40	30	45
	Avg.	30	30	60	38	45
Alc.+Peroxidase+H ₂ O ₂	No. 4	85	45	130	55	45
	8	25	35	60	40	65
	Avg.	55	40	95	48	55
Oxygen gas	No. 9	45	55	100		
	10	40	50	90		
	Avg.	43	53	95		

*1 Axial length of the discoloration.

*2 Total axial length of the discoloration plus artificial white zone.

キナンでは人工白線帯の伸長状況をも含む)を供試木別に Table 3 に掲げる。

結果的には菌の接種を完全に防止することはできなかった。Fig. 8 のウダイカンバでは、P.C.P. を以て積極的に殺菌処理をおこなったせん孔においてのみ菌糸が全く検出されなかったが、他の処理（殺菌はすべてアルコール処理のみ）ではせん孔周辺の着色部に限り、或は少々広い範囲にわたって菌糸が検出された。しかし、コントロールに用いた別の供試木*における無処理のせん孔に比べてはその分布範囲がせまかった。さらに図からも分るように菌糸検出がせん孔附近に限られた場合でも着色はその範囲を越えてはるかに長く伸びていることから、この種の着色には常に菌が関与しているとは言えないと思われる。

着色発生の程度は供試せん孔、処理によってたいへん複雑に変化するが、これを着色長 (Table 3)、その水平方向の拡がりなどに着目してみると両樹種とも酸化促進処理の効果はあまりみられなかった（アルコールだけのものに比べて）。とくに長期にわたって酸素ガスを補給した場合でもその効果があったとはみられないことから、この種の着色は単なる空気酸化というような単純なものではないと考えられる。

着色の拡がりとともにその質が問題であるが、両樹種におけるアルコール処理のみのものと酸素補給のものでは材の乾燥状態において天然の心材に最も近い人工心材の着色相

treatments of four test trees, Udai-kanba No. 1, No. 2 and Azuki-nashi No. 1, No. 2.

artificial heartwood (cm)							
No. 2		Azuki-nashi No. 1			Azuki-nashi No. 2		
Total	Upw.	Downw.	Total	Upw.	Downw.	Total	
90	45*1(65)*2	20 (30)	65 (95)	25 (115)	35 (100)	60 (215)	
80	10 (30)	15 (25)	25 (55)	55 (70)	55 (60)	110 (130)	
85	28 (48)	18 (28)	45 (75)	40 (93)	45 (80)	85 (173)	
90	55 (85)	60 (95)	115 (180)	115 (145)	75 (95)	190 (240)	
75	50 (170)	60 (75)	110 (245)	125 (210)	65 (80)	190 (290)	
83	53 (128)	60 (85)	113 (213)	120 (178)	70 (88)	190 (265)	
100				70 (75)	15 (45)	85 (120)	
105				5 (50)	15 (35)	20 (85)	
103				38 (63)	15 (40)	53 (103)	

* 比較のためには同一供試木における無処理せん孔を他の処理せん孔のコントロールとすべきであったが、供試樹幹の如何なる位置からの菌の接種をも防止すべきであるとの考えからコントロール（無処理）には別の供試木を用いた。

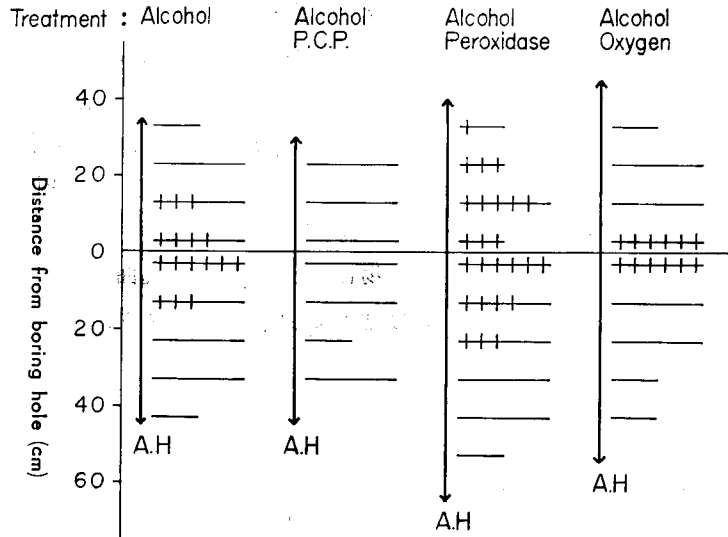


Fig. 8. An example of the upward and downward distribution of hyphae of wood fungi within the artificial heartwood (A. H.) of Udai-kanba No. 2, in regard with the treatment.

をえた。P.C.P. 処理では4供試木(ウダイカンバ2本, アズキナシ2本)とも無菌状態が確保されたので着色に菌の関与がなかったことは明らかであるがその色相は著しく濃く, きたない感じで, 恐らくはその着色機構が天然心材に比べてかなり異なるものであろうことを示した。P.C.P.と同様の目的で木材防腐剤ファインケム(有機錫化合物)による処理を一部せん孔に対して行なったが, 著しく濃い着色がP.C.P.の場合以上の拡がりをもて発生した。この場合, 菌の接種が若干みられたが, 着色の主なる機構は前者の場合と同様天然心材とは大いに異なるものがあるであろう。

人工心材の色を表示することは本論文において重要なことであるが, これは必ずしも容易なことではない。一般に材色は, その物理的性状たとえば含水量などによって著しくことなり, 又切断してこの面を空気や陽光にさらす場合, その程度によって変化する。しかし, 一般に人工心材の色調は正常な心材に比べて暗色のものが多かった。

要 結

1. 樹木が, いろいろの外傷などによって, その辺材部に心材或は心材類似の材部を形成する事実から^{1), 6)}, 正常心材の形成においても物質の酸化とくに空気酸化が重要な役割りを果たすのではないかとの考え^{2), 4), 6)}にもとづいてこの研究がはじめられた。研究の前後において, 樹幹への単純なせん孔によってその辺材部に形成される着色(これを本論文では人工心材と呼ぶ)に対する樹種特性, 後段においては無菌処理, 酸化促進処理とその

着色形成への効果が検討された。

2. 針・広各種立木の供試樹幹に、樹皮から心材に達する内径数 mm のせん孔をおこない (Fig. 1), 1 (ないし 3) 生長期経過後それを伐採して着色状況を調べた。後段の実験においては主としてアルコールを以て樹幹のせん孔内部を消毒し、さらにパーオキシダーゼや酸素ガス供給 (Fig. 2, Photo 1) による酸化促進処理を施した。

3. 1957 年以来約 30 種 50 余本の立木がこの試験に供された (Table 1, Photo 1~34)。針葉樹ではアカマツ、カラマツなどに人工心材が形成され、スギにも少々濃い着色が発生し、ドイツトウヒには熟材様の材部がその辺材中に形成された。広葉樹でもすべての供試樹種に人工心材が発生したが、その程度などは複雑であった。実験全体を通じてみればウダイカンバ、シラカンバ、ブナ、ケヤマハンノキなどが着色に最も敏感で、シナノキ、エゾイタヤ、ホオノキ、カツラ、ハルニレ、ヤマモミジなどにもよくそれが発生した。数種の常緑広葉樹も試験に供されたが、何れにも着色が発生した。普通には着色心材のみられないサワグルミ、アカシデ、クマノミズキなどにも人工心材は形成された。

4. せん孔部からの人工心材の拡がりは、一般的には、辺材の内方へゆくにつれ、すなわち心材に近づくにつれて幹軸方向、接線方向ともに著しくなる傾向があったが (ウダイカンバ…Fig. 3, 4, Photo 35, 36, ブナ…Photo 24, 25, Table 2, ハルニレ…Photo 28, カツラ…Fig. 5) 然らざる場合もあり、アズキナシ、ホオノキまた時にはカツラ (Fig. 6) においても心材の縁辺から離れて辺材中において著しく上下方向に孤立的に伸長することがあった。

5. アズキナシでは人工心材縁辺に、正常心材外周部にみられる白線帯類似の人工白線帯が形成された (Photo 41, Fig. 7)。ほぼ同様な現象はウダイカンバ、カツラ、スギ¹⁹⁾…などにおいてもみられた。アズキナシについての、人工心材、人工白線帯形成の季節的経過に関する実験によれば、人工白線帯の形成は常に人工心材の形成に先行する。この両者の関係は天然の心材と白線帯における関係に等しく、両系 (天然白線帯→天然心材, 人工白線帯→人工心材) の間に機構的相似性の存在することが認められる。

6. ねじれ生長や交走木理のある樹幹では、着色は不規則な紋様をつくり出すことがあり、カツラ (Photo 37, 38, 39), ウダイカンバ、シナ (Photo 40) などに顕著であった。

7. 人工心材の色は、他の材色同様に観察時の諸条件によって異なるので単純に表現することはむずかしい。一般に、生材状態では、かなり濃いことが多く、とくに処理せん孔部に近い位置では正常心材より濃い場合がすくなくなかった。着色材部の放射組織柔細胞 (時には道管、仮道管) 中には着色物質が多く含まれ、澱粉粒は見られなかった (Photo 43, 44)。

8. 特別な殺菌・防腐手段を講じない限り、本実験におけるような処理方法では菌の

接種を完全に防ぐことはむづかしい (Photo 42)。1 生長期間中 1 月おきに、せん孔部をアルコール消毒したウダイカンバ、アズキナシにおいても若干の菌接種がみられ、木材防腐剤 P.C.P. 処理によってこれを完全に防ぐことができた (Fig. 8)。

9. ウダイカンバ、アズキナシのせん孔部をアルコール消毒した後、酸化促進のためパーオキシダーゼ処理を 1 カ月おきにおこない、また酸素ガス (ウダイカンバのみ) を連続 1 生長期間供給したところ、正常心材に近い色相の人工心材が得られたが、その拡がりにはコントロールと著しい違いがなかった。とくに後者の場合、1 せん孔当り約 1,250 ℓ の酸素ガスが消費されたにもかかわらずこのような結果になったことから、人工心材における着色さらには正常心材における着色は単なる空気酸化というような簡単な機構によるものとはいえないと考えられる。

Literatures cited

1. 大沢正之・平井左門 (1948): 札幌農林学会報告, 37-2: 15 など
2. ZYCHA, H. (1948): Forstwissenschaft. Centralbl. 67: 80.
3. HART, J. H. (1965): The Quarterly Bull. Michigan Agri. Exp. St. 48-1: 101.
4. HARTIG, R. (1888): Das Holz der Rotbuche.
5. 矢沢亀吉・樋口隆昌 (1958): 日本木材学会大会講演要旨集.
6. 矢沢亀吉 (1959): 山林, No. 905.
7. ————— (1961): 日本木材学会大会講演集.
8. —————・石田茂雄 (1964): 同上集.
9. —————・大谷 諄 (1965): 同上集.
10. ————— (1966): 同上集.
11. YAZAWA, K., ISHIDA, S. and MIYAJIMA, H. (1965): Journ. Japan Wood Res. Soc. 11: 71.
12. YAZAWA, K. and ISHIDA, S. (1965): Journ. Facul. Agr. Hokkaido Univ. 54: 123.
13. HIGUCHI, T., FUKAZAWA, K. and NAKASHIMA, S. (1964): Journ. Japan Wood Res. Soc. 10: 235.
14. FUKAZAWA, K. and HIGUCHI, T. (1965): Ibid. 11: 196.
15. HIGUCHI, T. and FUKAZAWA, K. (1966): Ibid. 12: 135.
16. FUKAZAWA, K. and HIGUCHI, T. (1966): Ibid. 12: 221.
17. HASEGAWA, M. and SHIROYA, M. (1965): Proceedings of Meeting of Section 41, Forest Products, IUFRO, vol. 1.
18. KONDO, T. (1964): Journ. Japan Wood Res. Soc. 9-142, その他.
19. YAZAWA, K. and ISHIDA, S. (1965): Journ. Facul. Agr. Hokkaido Univ. 54: 123.
20. 石田茂雄 (1963): Res. Bull. Coll. Exp. Forests. Hokkaido Univ. 22-2: 273.
21. 北島君三 (1933): 樹病学及び木材腐朽論, 322 頁など.
22. MEYER, W. H. and S. B. HAYWARD (1936): Journ. Forestry 34: 867.

Summary

1. An experiment was made of the formation of heartwood-like wood*, mainly in connection with the color, in sapwood of living tree trunks as a result of their

* The authors call the wood part Artificial Heartwood in this paper.

response to some artificial treatments. The work was divided into two parts according to the treatment of the sample tree trunks; one carried out by boring to supply air in them and the other with some additional treatments.

2. In order to obtain general information about the species characteristics of forest trees concerning their response to boring in their trunks, a series of test were started in 1957. Tree species studied since then was numbered 32, 4 conifers and 28 broad-leaved trees including 3 ever green, grown in Wakayama-Pref., Gifu-Pref. in central Honshu and in Hokkaido Island. Their diameter ranged from 15 to 30 cm at breast height (Table 1).

3. Each test tree was bored at about breast height on 3 or 4 sides up to the heartwood or near to the pith in the case of there being no heartwood (Fig. 1). Each hole, ca. 6 mm in diameter, was left open without any additional treatment in the first work. One or two, sometimes three growth period(s) after the borings were made each test tree was felled and disks were cut off above and below the height above the ground where the holes were made by boring. Abnormalities on the surfaces of the disks, mainly discoloration that might possibly be related to the borings were examined closely and then photographed.

4. The sensitivity of each species to the treatment is shown in Table 1 with + marks and the internal view of the discoloration in cross section of their trunks is illustrated with photographs in Appendix. In sample trees of all the species examined discoloration within sapwood was formed although its color and the distribution pattern of the color varied among the species. Of four coniferous species examined, Sugi (the scientific name is in Table 1), Kara-matsu and Aka-matsu, so-called heartwood species, formed artificial heartwood of dark brown or brown, while in Doitsu-tô-hi, Norway spruce, a ripe-wood species, formed wood similar to ordinary ripe-wood in its sapwood.

In the majority of cases of broad-leaved trees studied, their trunks had ordinary heartwood at the place bored and a few had not. But in all the cases the discoloration of sapwood appeared. Buna, Shira-kanba, Udai-kanba and Ke-yama-han-no-ki were most sensitive to the treatment. But Shina-no-ki, Ezo-itaya and so forth are not so sensitive. In Hô-no-ki, Katsura, Haru-nire, Yachi-damo and Azuki-nashi discoloration was also clearly formed. Hari-giri and Kihada whose sample trees had very narrow sapwood were not sensitive to the formation.

5. Observations of the internal morphology of trunks examined regarding mainly their discoloration showed, in general, that the artificial heartwood had a tendency to distribute in less lateral extension from the ordinary heartwood periphery as axial distance increased both upward and downward from the hole (Figs. 3~6, Table 2 and photo 24). Tangential extension of the discoloration from the longitudinal radial plane including the hole increased, in general, with the decrease of distance from periphery of heartwood at any given height above the ground.

6. Artificial white zone¹⁹⁾ at the margine of the artificial heartwood developed usually in Azuki-nashi, sometimes in Udai-kanba and Katsura. In ocular aspect

and in moisture content it was similar to the ordinary white zone¹⁹⁾, intermediate wood, which has been considered to be located at the boundary between the sapwood and ordinary heartwood and to have special meaning for heartwood formation. After boring Azuki-nashi trunk artificial white zone appeared first around the boring hole in its sapwood, followed by discoloration, and thus making the artificial heartwood (Fig. 7).

7. Irregular distributions of discoloration occurred sometimes in Katsura, Udai-kanba and Shina-no-ki in relation to the spiral grain or the interlocked grain within their trunks (photos 37~39).

8. It is not easy to show briefly the color of artificial heartwood in comparison with the ordinary heartwood in each species studied because it is affected by some purely physical conditions (e. g., the moisture condition of the wood part) unrelated to the ordinary color of the wood itself. Generally, artificial heartwood gave darker shades of its color in green condition than the ordinary heartwood. Discolored substances were always found in ray cells in all the species studied (photos 43, 44). They were also located in vessel segments often in Udai-kanba and Katsura, and in tracheids in Kara-matsu.

9. There were difficulties to keep the hole free from wood fungi although it was considered very important in this work because of possibilities of discoloration due to the fungi when they infected. Fungus hyphae were often found in Udai-kanba, Katsura, Shina-no-ki and Azuki-nashi in the first series of the work stated above (photo 42).

10. To keep the hole entirely in sterile condition, ethyl alcohol of 80% was sprayed into the boring holes and sterilized glass fiber was placed in them in the case of Azuki-nashi and Udai-kanba. Peroxidase (+H₂O₂) was then sprayed into some of the holes and oxygen gas supplied into the remaining 2 holes in Udai-kanba for four months totaling up to ca. 2,500 liters. Wood preservative (P.C.P.) was also sprayed into holes prepared for the purpose of comparison.

A slight infection of the fungi occurred only in the case of treatment with alcohol in both species. Intensified formation of the artificial heartwood did not occur in cases of both the treatments, peroxidase and oxygen gas. Color of the artificial heartwood by the borings both sterilized with alcohol and supplied with oxygen gas after alcohol treatment was rather similar to the color of the ordinary heartwood.

Explanations of the photographs

1. Arrangement of the apparatus supplying oxygen gas to a standing test tree trunk of Udai-kanba, *Betula maximowicziana* Regel.
2. Artificial heartwood in Buna, *Fagus crenata* BL.
3. " in Buna, *Fagus crenata* BL., showing a discoloration due to a boring insect.
4. " in Sugi, *Cryptomeria japonica* D. DON.
5. " in Ezo-itaya, *Acer mono* MAXIM. var. *glabrum* HARA.
6. " in Sawa-gurumi, *Pterocarya rhoifolia* SIEB. et ZUCC.
7. " in Kara-matsu, *Larix leptolepis* GORD.
8. " in Shira-kanba, *Betula platyphylla* SUKATCH.
9. " in Yama-momiji, *Acer palmatum* THUMB. var. *matsumurae* MAKINO, with a radial coloration caused by a boring insect (an arrow).
10. " in Shina-no-ki, *Tilia japonica* SIMONKAI.
11. " in Hô-no-ki, *Magnolia obovata* THUNB.
12. " in Asada, *Ostrya japonica* SARG.
13. " in Katsura, *Cercidiphyllum japonicum* SIEB. et ZUCC.
14. " in Azuki-nashi, *Sorbus alnifolia* C. KOCH.
15. " in Hari-giri, *Kalopanax pictum* NAKAI.
16. " in Ao-damo, *Fraxinus Sieboldiana* BL. var. *serrata* NAKAI.
17. " in Yachi-damo, *Fraxinus mandshurica* RUPR. var. *japonica* MAXIM.
18. " in Ke-yama-han-no-ki, *Alnus hirsuta* TURCZ.
19. " in Aka-shide, *Carpinus laxiflora* BL.
20. " in Koshi-abura, *Acanthopanax sciadophylloides* FRANCH. et SAVAT.
21. " in Kihada, *Phellodendron amurense* RUPR.
22. " in Mizu-nara, *Quercus crispula* BL.
23. "
24. Distribution of the artificial heartwood on the longitudinal radial surface in Buna.
25. Distribution of the artificial heartwood on the longitudinal tangential surfaces of planks cut off succesively from periphery inward of the test trunk of Buna.
26. Artificial heartwood in Norway spruce, *Picea abies* KARST.
27. " in Aka-matsu, *Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.
28. " in Haru-nire, *Ulmus davidiana* PLANCH. var. *japonica* NAKAI.
29. " in Udai-kanba, *Betula maximowicziana* REGEL.
30. " in Keyaki, *Zelkova serrata* MAKINO.
31. " in Kuma-no-mizu-ki, *Cornus macrophylla* WALL.
32. " in Tsubura-jii, *Castanopsis cuspidata* SCHOTTKY.
33. " in Kusu-no-ki, *Cinnamomum camphora* SIEB.
34. " in Rin-boku, *Prunus spinulosa* SIEB. et ZUCC.
35. Distribution of the artificial heartwood on the cross sectional surface of Udai-kanba, showing a colored ring zone formed by lateral holes bored at 4 sides of the trunk (on a close position of height to the holes No. 1-4).
36. Distribution of the artificial heartwood on the cross sectional surface of Udai-kanba, showing a colored ring zone formed by lateral holes bored at 4 sides of the trunk (on 100 cm of distance from the holes).

- 37, 38 and 39. Irregular distributions of Artificial Heartwood in a Katsura standing tree trunk due to the spiral grain or to the interlocked grain of the wood. Each disk was cut off from the trunk treated at about 30 cm intervals of the boring place. For instances, discolorations No. 17 and No. 18 ~~that~~ are both irregularly bending on the surface of No. 25 disk, while nearly straight on disk No. 30 which ~~were~~^{was} cut off from the trunk about 30 cm lower part than No. 25 disk. Udai-kanba, Shina-no-ki.....give also such irregular pattern of the artificial heartwood distribution as in Katsura, due to their irregular grain.
40. Irregular discoloration on a cross sectional surface of a Shina-no-ki test tree trunk due to its irregular grain. The surface is only 5 cm distant from the boring place where the discoloration was naturally straight. Line shown by arrow No. 2 appears to be a Zone Line caused by wood destroying fungi.
41. White zone and artificial heartwood appeared in an Azuki-nashi test trunk. Boring was made at ca. 5 cm lower place from the surface. Arrow No. 1 shows ordinary white zone¹⁹⁾ and No. 2 shows the artificial white zone connected with the ordinary and margined the artificial heartwood (No. 4 and No. 5). Although No. 7 gives white zone only at this place, discoloration existed at the place a little more closer to the boring hole. Generally, white zone develops in sapwood ahead of the discoloration.
42. As shown in photo 40 there appear sometimes dark lines like Zone Line. Hyphae of a wood destroying fungus in shina-no-ki observed under the microscope is shown in this photograph. The species is not yet determined.
- 43, 44. Discolored substances in ray parenchyma cells located in the artificial heartwood in Shina-no-ki (photo 43). About the same image^s under the microscope were obtained in the artificial heartwood of some other species studied. In Katsura, Udai-kanba and so forth colored substances were often found in vessel segment, especially on the perforation plate of it. Tracheid in conifers, e. g., in Sugi, also included such materials. Photo 44 shows substances in ray parenchyma cells in sapwood that are not discolored.



Photo 1.

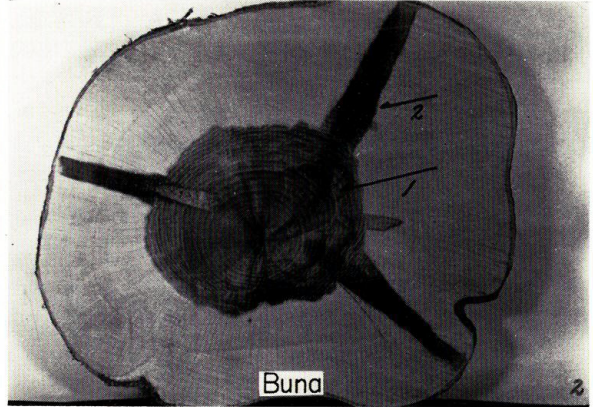


Photo 2.

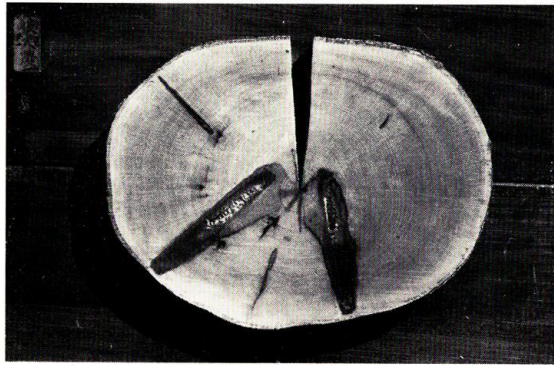


Photo 3.

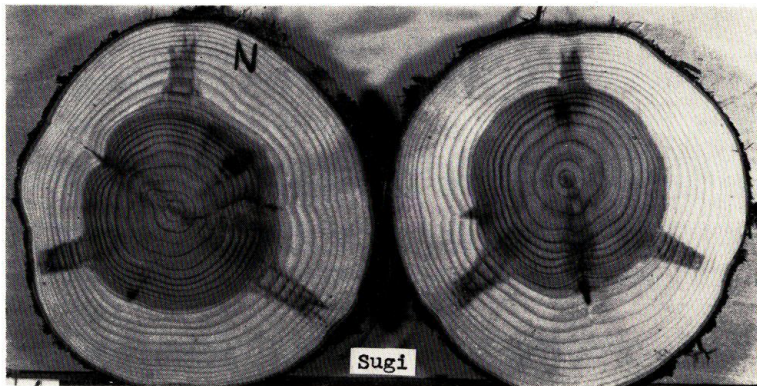


Photo 4.

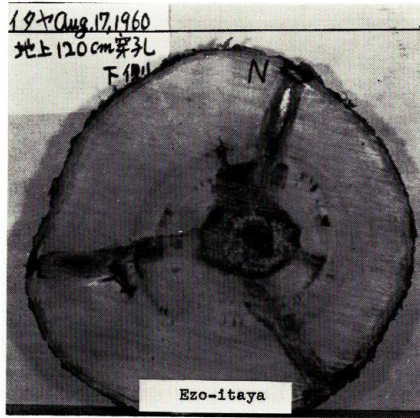


Photo 5.



Photo 6.



Photo 7.

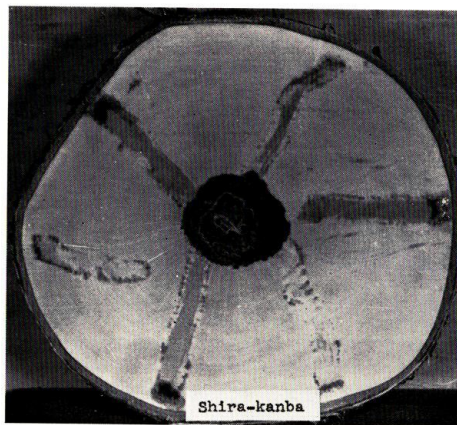


Photo 8.

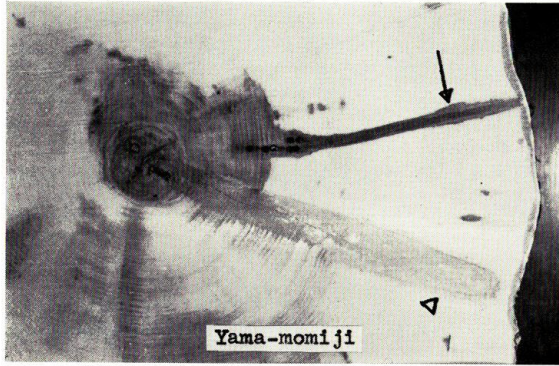


Photo 9.



Photo 10.



Photo 11.



Photo 12.



Photo 13.



Photo 14.



Photo 15.



Photo 16.

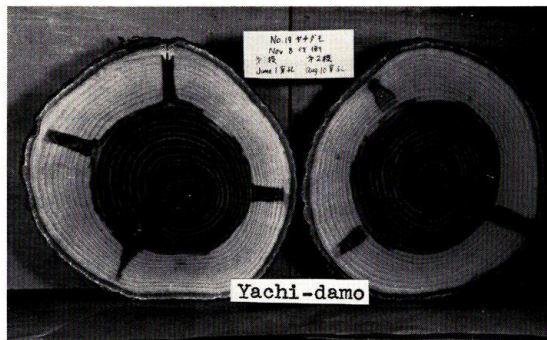


Photo 17.



Photo 18.

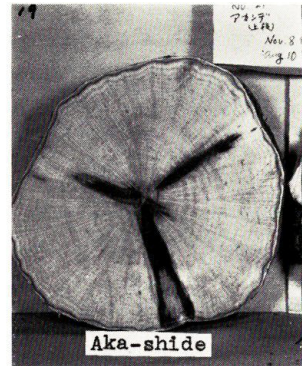


Photo 19.



Photo 20.

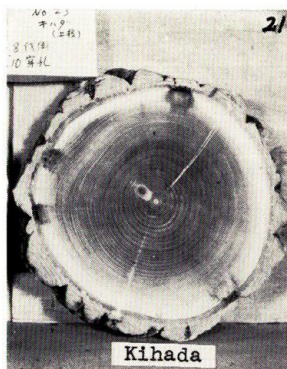


Photo 21.



Photo 22.

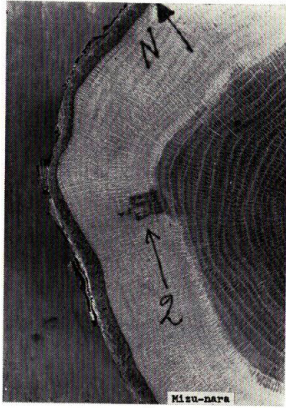


Photo 23.

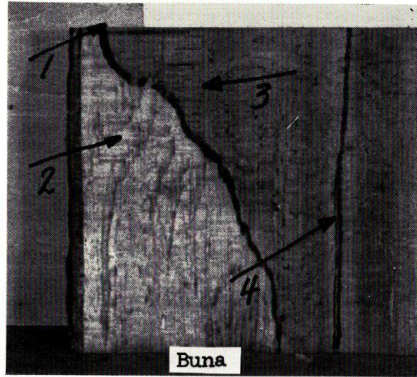


Photo 24.

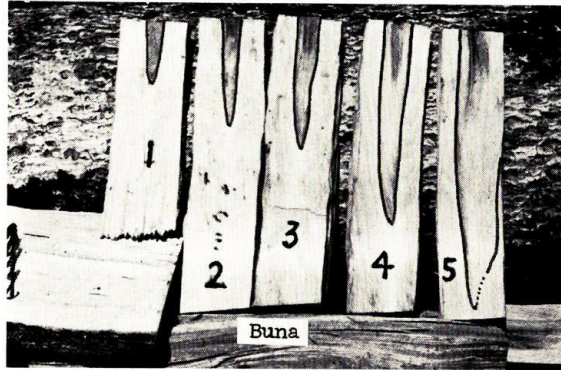


Photo 25.

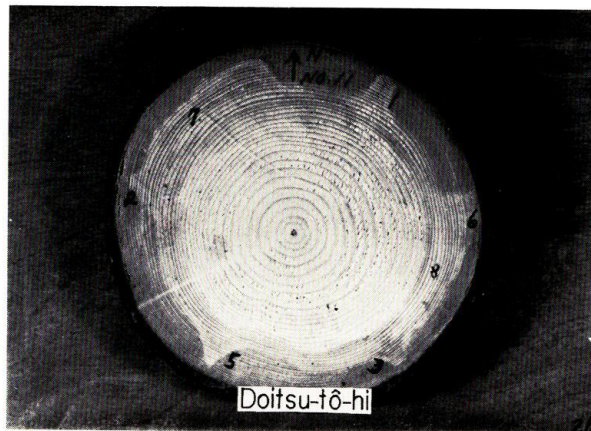


Photo 26.

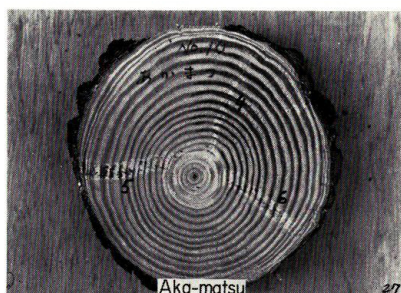


Photo 27 (a).

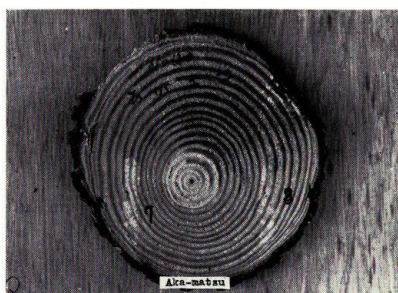


Photo 27 (b).

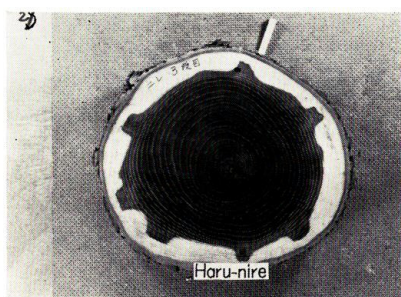


Photo 28.



Photo 29.

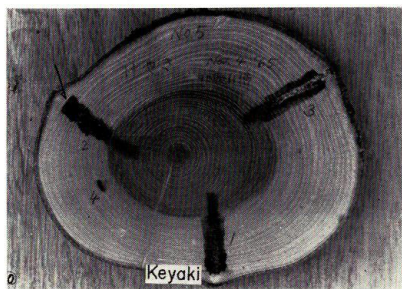


Photo 30.



Photo 31.



Photo 32.

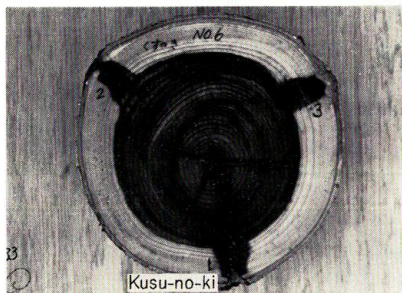


Photo 33.

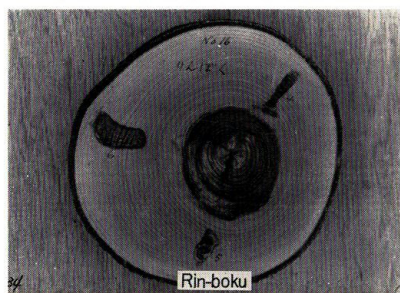


Photo 34.



Photo 35.

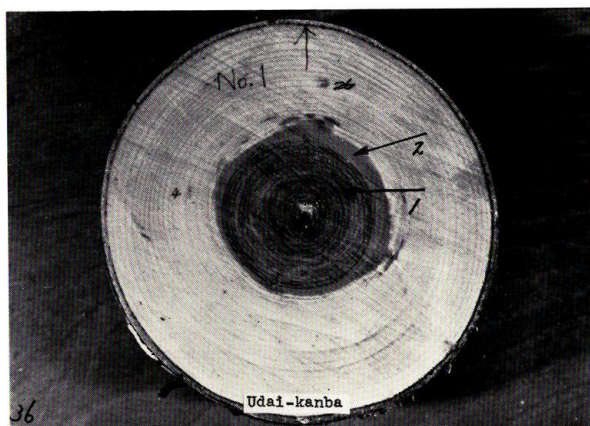


Photo 36.

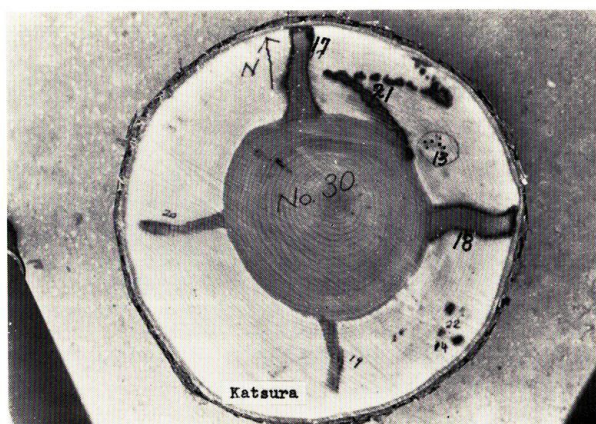


Photo 37.

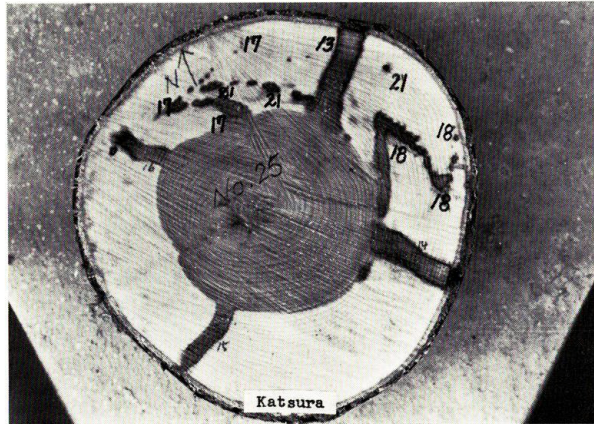


Photo 38.



Photo 39.

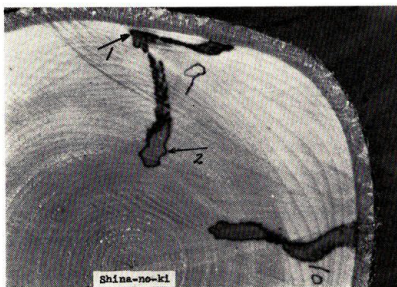


Photo 40.



Photo 41.



Photo 42. $\times 560$

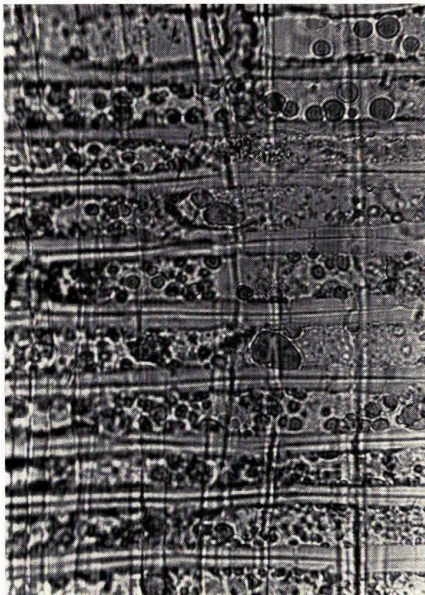


Photo 43. $\times 560$



Photo. 44. $\times 560$