

木材に水が浸透する過程の顕微鏡的観察*

木材生物第1研究室 貴 島 恒 夫・林 昭 三

(昭和35年6月1日受理)

Tsuneo KISHIMA and Syōzō HAYASHI : Microscopic Observation of
the Courses of Water Penetration into Wood.

緒 言

木材中への水の浸透を、(1) 細胞内腔あるいは細胞間隙を通つての浸透と、(2) 細胞膜を通つての浸透とに分けて考えると、(2) の浸透状況の観察はおおむね光学顕微鏡可視限界を超えている。

木材は概して親水性であるから、これを水に浸しておけば、究極においてはその隅隅にまで水が浸透するはずである。この状態に達するには、いわゆる**初期浸透**の過程では、上記(1)の浸透が(2)のそれよりはるかに先行し、条件の許す限りこの状態が継続するが、供給される水の量が乏しくなれば、この関係は逆転して(2)の浸透が(1)のそれに先行し、**後期浸透**の過程に入る。ただしクレオソート油などとなり、水の場合後期浸透の過程を経ないで、究極の飽水状態に達することも多いと考えられる。

したがって木材中での水の浸透経路の顕微鏡的追跡は、初期浸透の過程に関する限り可能であり、たとえ後期浸透の過程に入つても、(2)の浸透よりも遅れて進む(1)の浸透経路は辿れるとの見込みで、これを実行した。

ただし今次の観察は予察的なもので、浸透の難易判定などはこれをすべて視覚に委ね、数字的資料をとるには至っていない。

実 験 方 法

1. 供 試 木 材

浸透の難易と実用性を考慮して選んだ6樹種(Table 1)の辺材を主とし、これから鏡検に都合のよい小ブロックを採取して供試したが、このほかにも必要に応じて若干ほかの樹種ならびに心材にもわたっている。

2. 染 料

水は無色透明であるため、その浸透の直接観察は困難な場合が多いので、指標としてここでは最も実用的な水溶性染料を用いた。

ただしこの染料も木材中での動きが水のそれと大きく違つては目的を達しないので、Table 2 にあげた通り、インクを含む7種中より、**Methylene blue** および **Acid fuchsin** を選出、さらに写真効果をも考慮して結局主として後者 **Acid fuchsin** の0.5%溶液を採用することに

* 本報の概略は第8回日本木材学会大会(1959)において口述発表した。(同大会研究発表要旨: 4~5P.)

Table 1. Wood specimens used.

Species of wood	Moisture content, air-dry (%)	Specific gravity, air-dry	Annual ring width, average (mm)
Softwood :			
Hinoki (<i>Chamaecyparis obtusa</i> Endl.)	14.0	0.43	3.03
Sugi (<i>Cryptomeria japonica</i> D. Don)	14.8	0.38	2.25
Kuromatsu (<i>Pinus Thunbergii</i> Parl.)	15.4	0.50	2.13
Hardwood :			
Buna (<i>Fagus crenata</i> Blume)	14.6	0.67	2.75
Shioji (<i>Fraxinus Spaethiana</i> Lingelsh)	14.4	0.51	1.04
Red lauan (<i>Shorea negrosensis</i> Foxw.)	12.7	0.66	—

Table 2. Properties of the tested stains compared with that of water.

Stain	Hydrogen ion concentration (pH)			Specific viscosity			Surface tension at 26°C (dyn/cm)			Specific gravity at 26°C		
Water, distilled	7.0			1.00			71.8			0.997		
Contn. (%)	100	50	10	100	50	10	100	50	10	100	50	10
Blue-black ink	1.7	1.8	2.5	1.31	1.15	1.02	53.7	55.8	68.8	1.012	1.005	0.999
Red ink	8.8	8.7	7.8	1.05	1.03	1.01	64.5	65.9	71.4	1.011	1.004	0.999
Contn. (%)	1.0	0.5	0.1	1.0	0.5	0.1	1.0	0.5	0.1	1.0	0.5	0.1
Acid fuchsin	2.6	2.8	3.6	1.02	1.00	1.00	67.9	66.5	67.7	1.001	0.999	0.998
Eosin	6.9	6.9	6.5	1.02	1.02	1.01	66.8	72.7	75.0	1.001	1.000	0.998
Malachite green	3.0	3.1	3.7	1.03	1.02	1.00	49.1	55.5	64.7	0.999	0.997	0.997
Methylene blue	6.5	6.3	7.1	1.03	1.03	1.02	54.8	53.7	64.2	1.002	0.999	0.998
Safranin	6.5	6.2	6.1	1.04	1.02	1.00	60.8	60.6	62.9	1.000	0.999	0.998

なつた。

Table 2 中の比粘度は OSTWALD の粘度計により、表面張力は Du Nouy の張力計によつて測定した値であり、ともに毛管上昇に関する因子である。pH も拡散を支配する 1 要因である³⁾ 点にかんがみ一応測定してみたが、これらの性質からは染料選択の基準とするに足る端的な示唆は得られなかつた。

上記 Methylene blue および Acid fuchsin 採用に帰着したのは、ろ紙上への染料滴下

浸潤試験の結果によるものである。すなわちこの結果は染料適用上最も懸念される水の分離先行の有無，程度をうかがわせてくれる (Fig. 1)

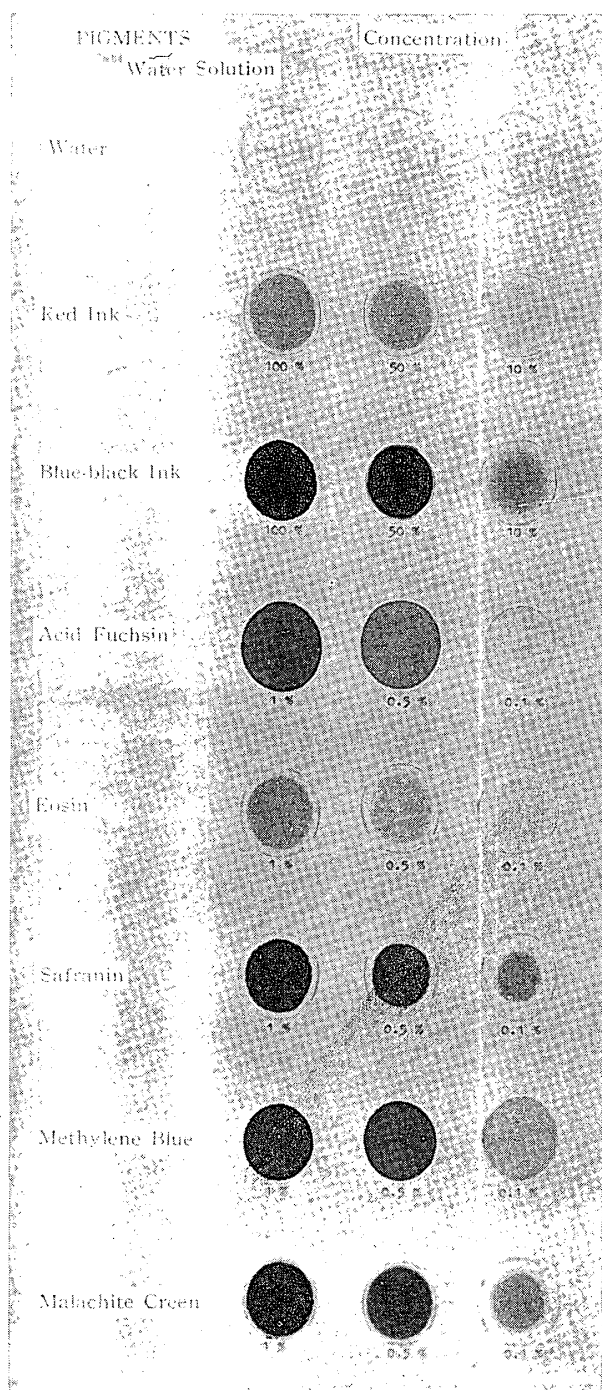


Fig. 1. Filter-paper tests by dropping stains (every 0.05 cc) to know their capillary spreads compared with that of water. Boundary pencil lines show precedence of water (1/3x).

あるが，パラフィンや合成樹脂の類を塗布する場合の如く，表面にあらわれた開口，管溝を充

る紙面での液体の拡がりには繊維内毛管引力によるものではなく，繊維外毛管引力によるものであり，色素の粒子は水のそれより大きく，さらに溶液は一般に多少ともコロイド的性質を帯びると考えられる点で木材への水の浸透とろ紙面での水溶性染料の浸潤との間にはかなり隔りのあることは事実には違いないが，当面の問題は主として細胞内腔における浸透先頭の確認にあり，渗透 (Osmosis) のおこらぬ限り，また細胞内腔に自由水の存しない限り，水の分離先行をおこす憂いのない水溶性染料でさえあれば一応目的に適うものと考えられる。

なおこれと平行的に木材の3断面に対する滴下試験をも試みたが，いずれもろ紙面ほどの的確な示唆を与えなかった。

3. 観 察

染料が一旦浸透した細胞は必ず染色されているとの仮定のもとに，浸透の途中で試片を割裂あるいは切削して，内部における浸透状態を結果的に知る静的観察には，プレパレートを作つて詳細に検討し得る利点はあるが，染色された部分がある程度乾燥してからでなければ切片がとれないし，動きつつある浸透の先頭を動的に観察することはもちろんできない。

動的観察の手段としてとつた方法は，市販の透明ビニルテープを材面に貼付することによつて，その表層附近において内部浸透の実態に近い先頭の進行を把握しようとするものである (Fig. 2)

ビニルテープはその中に制限があり，材がぬれていては付着し難いこと，局部的には密着しない個所の生じうること，液圧がかかり過ぎると剥がれることなどの欠陥は

填閉塞することなく被覆する性質のものであつて、一応目的に適っている。

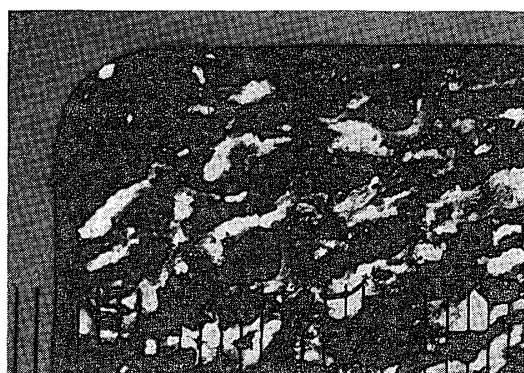


Fig. 2. Cross-section of a corner of test piece (Red lauan) which is covered with transparent vinyl-adhesive tape for dynamic observation of penetration. Scale unit : 0.1 mm (23×).

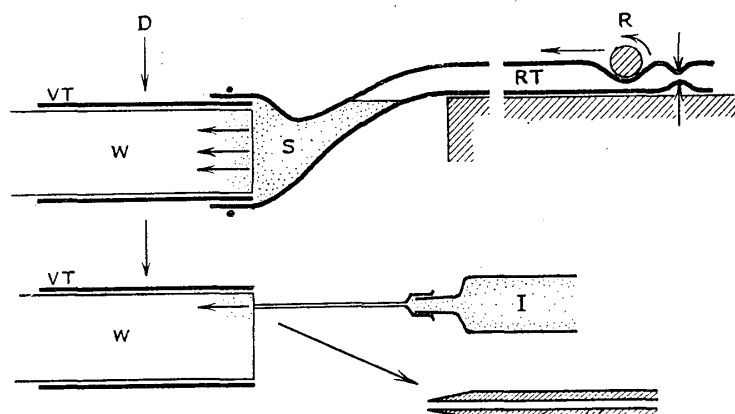


Fig. 3. Promoting method of penetration by pressure.
W : Wood piece, S : Stain, D : Sighting direction, VT : Vinyl-adhesive tape, transparent, RT : Rubber tube, R : Roller, I : Injector.

なおたとえば木口面からの浸透が自然に進行する状態（**自然浸透**）を動的に捉えるには普通10～30分程度の観察で充分であるが、場合によつては、さらに先頭を進行せしめ観察を促進するためにゴム管または注射器を用いて多少(約 30 g/cm^2 以内)の加圧を行つた (Fig. 3)。

実 験 結 果

観察の結果は、針広葉樹別に試片の木口面より幹軸方向（繊維方向）への**縦浸透**と、柾目あるいは板目面より幹軸方向に直角の**横浸透**とに区分して記述する。

針葉樹材の縦浸透について

針葉樹に限らず一般に縦浸透が横浸透に比して格段に容易であることは、木材組織の構造上当然考えられるところであり、木材への液体の浸透といえは主として縦浸透を意味すると考えてもよいくらいである。

針葉樹材を構成している基礎

組織は**仮導管**であるから、縦浸透はまず仮導管に始まる。と同時に供試材中クロマツなど垂直樹脂溝を有するものではその溝内にも浸透が始まる。

一般に毛管への液体の上昇はその管が細い程大である理ではあるが、少なくとも水浸透の当初においては内腔の太いものほど入り易く、樹脂溝内の浸透が率先する傾向も認められる (Fig. 4)。一方仮導管のなかにもほかにぬきんでて樹脂溝に劣らぬ浸透を示すものがある (Fig. 5)。ここではこれらを仮に**率先浸透**とよぶ。

仮導管内での浸透は円滑に進行し、細胞端に至つて一旦停止する (Fig. 6)。つぎの仮導管への浸透移行にはかなりの時間がかかるので、直列的移行の動的観察は案外困難であり、重紋孔通過の観察は不可能であるが、直列浸透が実際に起つている以上、染料の重紋孔通過事実は認めなければならない。

仮導管相互の並列的浸透もその動的観察は容易ではないが、ある重紋孔対を通じてそれが起

これば、隣接仮導管においては順逆両方向への縦浸透の円滑な進行が可能である。

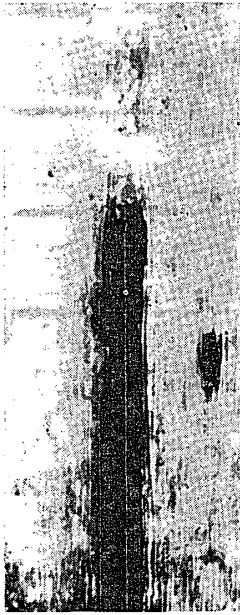


Fig. 4. Preferential penetration into axial resin canal of Kuromatsu wood (t/x)*, D.O.**, (20 $\times$).



Fig. 5. Preferential penetration of tracheids. (Rays are not stained.) Hinoki, (r/x) (3.5 $\times$).

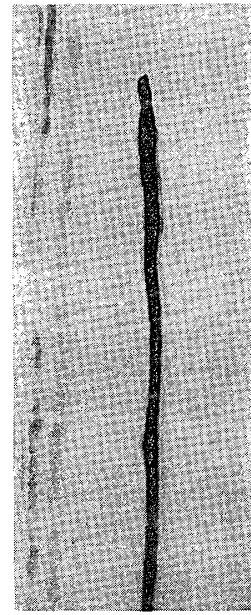


Fig. 6. Temporal stopping of penetration at the end of a tracheid. Hinoki, (r/x), D.O., (55 $\times$).

また一般に針葉樹の仮導管は多少とも水平に階層構造 (Storied arrangement) 的に並列しているものである。したがって仮導管の細胞端における先頭の停滞は当然浸透の階層状進行 (階層浸透) をおこさせる (Fig. 7)。

また垂直樹脂溝は概して率先浸透を許すとはいえ、横断面に占める樹脂溝の断面は1%にも満たない小面積に過ぎないことを思えば、たとえ溝内に全く填充様体 (Tylosoid) や樹脂が存在しない場合でも、樹脂溝が一般に信じられているほど浸透に対して有効に働らくものとは考え難い。

Notice * (t/x) means tangential surface view (t) of penetration impregnated from end surface (x), and similarly, e.g. (r/t) means radial surface view (r) of it from tangential surface (t), etc.

** D.O. means Dynamic Observation which is a method to catch the surface view of capillary movement by covering the surface with transparent vinyl-adhesive tape.

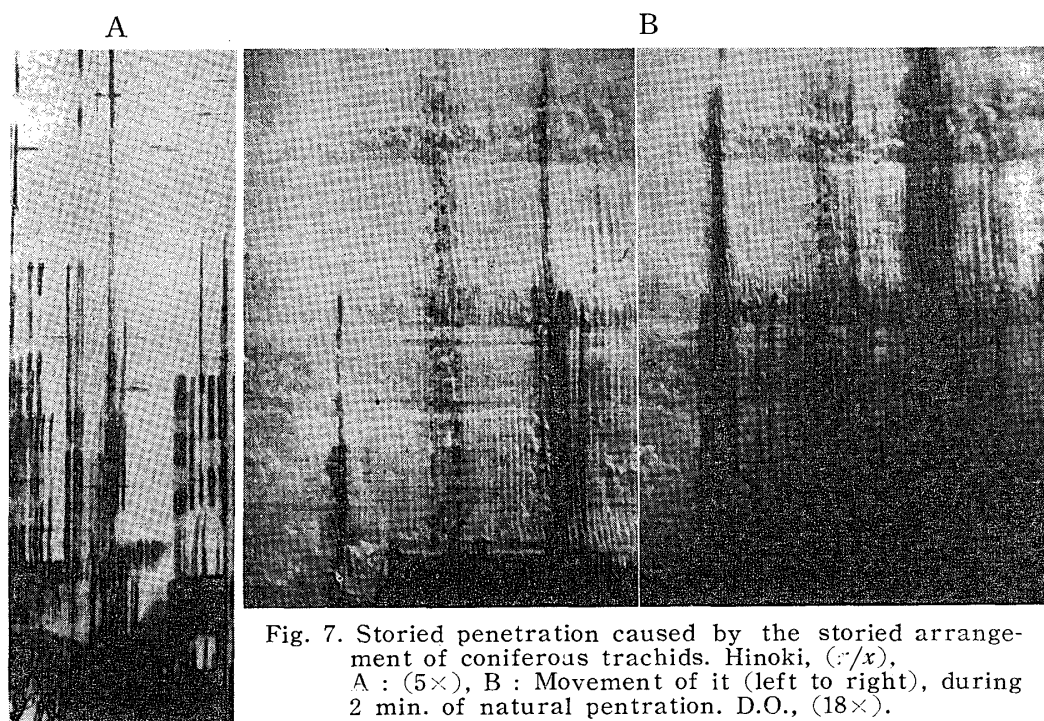


Fig. 7. Storied penetration caused by the storied arrangement of coniferous trachids. Hinoki, (r/x).
A : ($5\times$), B : Movement of it (left to right), during 2 min. of natural penetration. D.O., ($18\times$).

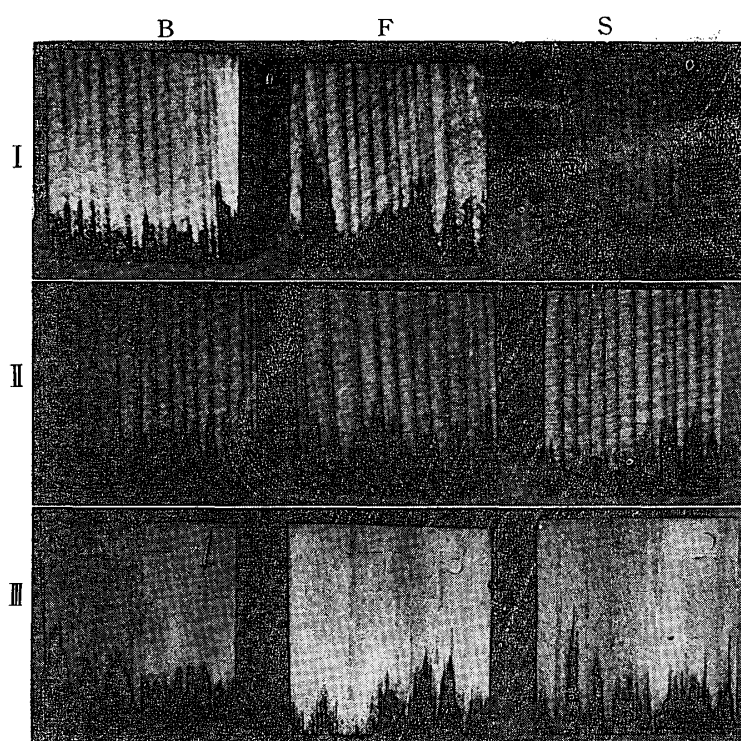


Fig. 8. Penetrating patterns caused by the penetrability differences of early and latewood. (r/x), ($0.7\times$).

I : Kuromatsu, II : Sugi, III : Hinoki
B : Blue-black ink, F : Acid fuchsin, S : Saffranin applied.

つぎに春秋材別の浸透状態を主に仮導管組織について見ると、これには樹種による差異が認められる (Fig. 8)。クロマツでは春材より秋材に浸透し易く、スギは春材後期ないし秋材に浸透し易く、ヒノキでは春材後期に浸透し易い。

木柔細胞としての樹脂細胞には樹脂の塊が相当多量に点在するものであり、個々の細胞はなほだ短かいにもかかわらず、案外その内腔に浸透の跡(染色)が見られるのは、隣接細胞からの並列的浸透によるものと思われる。したがつてまた仮導管との間に存する半重紋孔対も染料を通過させ得るものと解せられる (Fig. 9)。

水平要素、髄線への浸透は樹種別の難易が大きい。クロマツの紡錘状髄線ではその水平樹脂

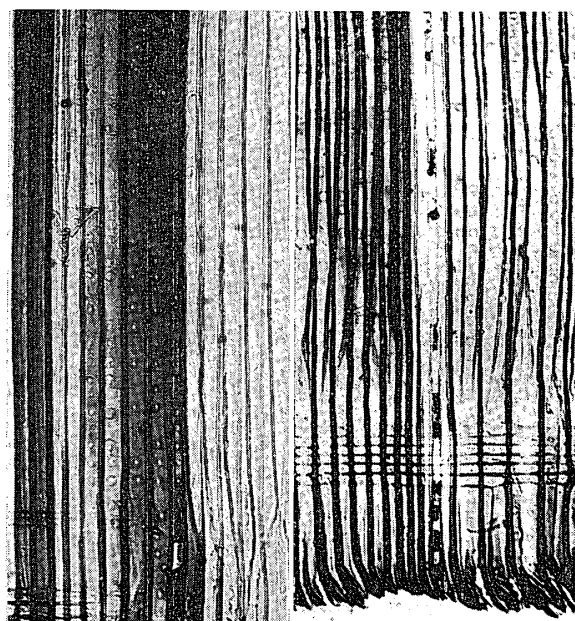


Fig. 9. Axial rows of resin cells, penetrated from the adjacent tracheids (left, 85 $\times$), and not penetrated because of no penetration into them (right, 70 $\times$). Hinoki, (*r/x*).

溝中を浸透が先行する傾向が強いが、補足的に観察したエゾマツでは同じく紡錘状髓線でも水平樹脂溝中の浸透は必ずしも著しくなく、しかも浸透を見ない樹脂溝にも別に填充様体は認められなかった。

紡錘状髓線以外の髓線についてみても、クロマツには浸透し易く、仮導管を上昇して来た先頭が、交叉した髓線に移つて直角に方向転換し、さらに再び未浸透の仮導管へと移行するのをしばしば見た (Fig. 10)。スギ、ヒノキでも髓線中への浸透は認められるが、クロマツほどではない。

髓線細胞中、髓線仮導管はその生存中の機能からすれば髓線柔細胞よりも水を通し易いかの如く考えられるが、とくにそのような傾向は認められず、同じく髓線中でもある場合によつて、浸透が髓線仮導管を先行することもある。

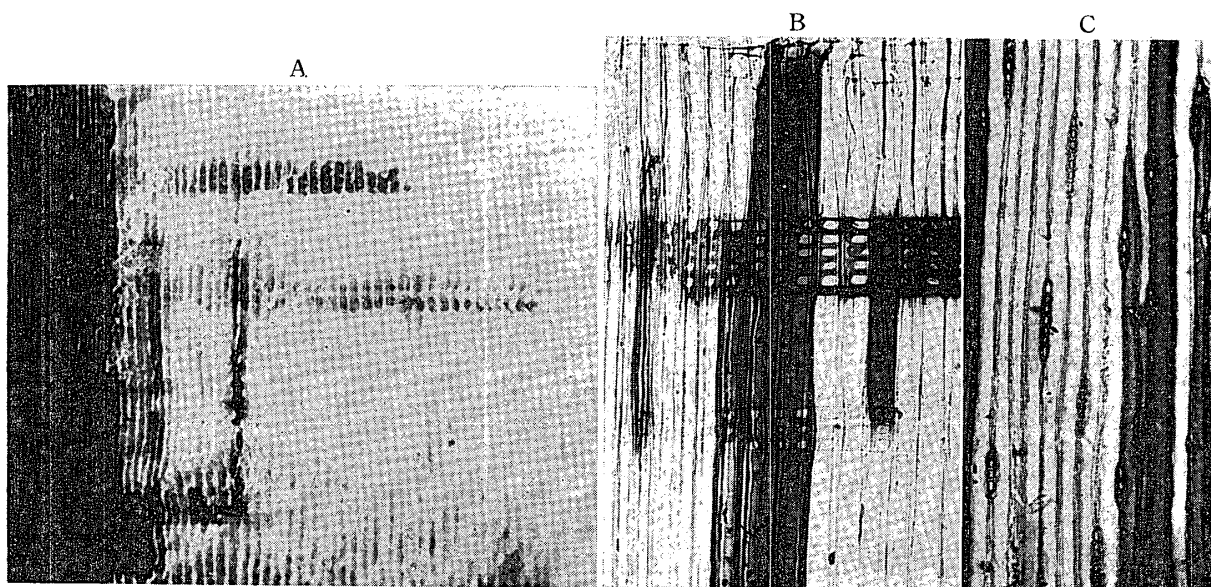


Fig. 10. Penetration into tracheids-rays-tracheids. Kuromatsu.

A : (*r/x*), D.O., (25 $\times$), B : (*r/x*), (70 $\times$), C : (*t/x*), (75 $\times$)

なお心辺材別浸透の補足的観察の結果では、クロマツの辺材はたしかにその心材よりもはるかに浸透し易く、先頭が高く昇る。スギ、ヒノキでももちろん辺材の方が浸透し易い傾向は認められるが、その程度はクロマツの比ではない。浸透経過については心辺材間に特記すべき差

異は存しないように思われる。STAMM²⁾ によれば紋孔膜の孔隙の透過性は辺材の方が心材の1000倍も大きいことになっているが、それほど差異はこの浸透観察からは感じられなかつた。

以上の観察結果を通じて、**易浸透材 (Receptive wood)** の代表とされているクロマツの辺材が、スギ、ヒノキに比して明らかに浸透性能において優つている事実は、それが樹脂溝を有していることにもよるけれども、むしろその髄線が比較的容易に浸透を許すことに帰因するものではなからうかとの印象を受けた。とすれば、二葉松類に特有の、髄線柔細胞の分野紋孔が窓状 (**windowlike**) を呈している事実が注目されるが、同じく窓状紋孔を有するカラマツについての補足的観察ではクロマツに見るほどの髄線の浸透性は認められなかつたし、原田¹⁾ もアカマツについて窓状紋孔の紋孔膜は一般髄線仮導管の重紋孔のそれと同様に電頭的間隙を有しないとみている。

針葉樹材の横浸透について

針葉樹材の横浸透はその縦浸透に比して格段に困難である。

ことに柃目面からの浸透は、とくに加圧するのでなければ、約10時間の自然浸透でもわずかに1~2細胞層に止まる。浸漬面が秋材ならばせいぜい1層に過ぎない。多少圧力を加えても、また深さ2mm程度の**Incising**を施しても、せいぜい数層程度その深さを増すに過ぎない。また木表からでも木裏からでも別に変りはなかつた。

板目面からの浸透には、髄線部分の縦浸透が関与するのでやや深達の傾向が見られる。とは

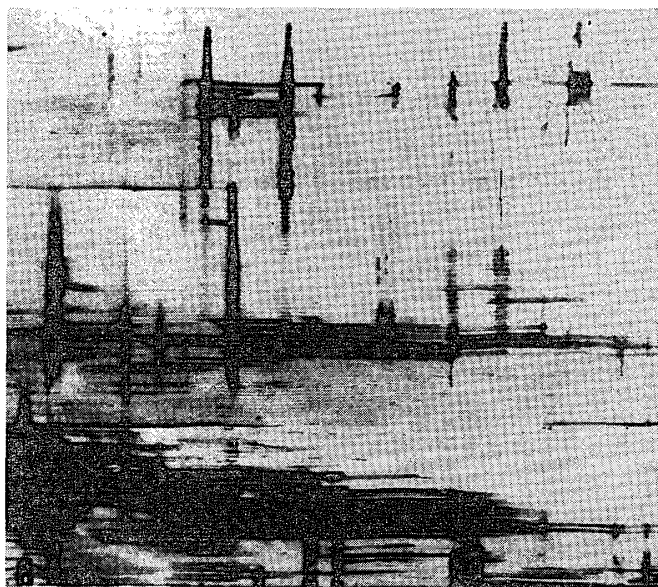


Fig. 11. Deep transverse-penetration of Kuromatsu across a few annual rings, caused by the comparatively large, axial penetrability of its rays. (*r/t*), (12×)

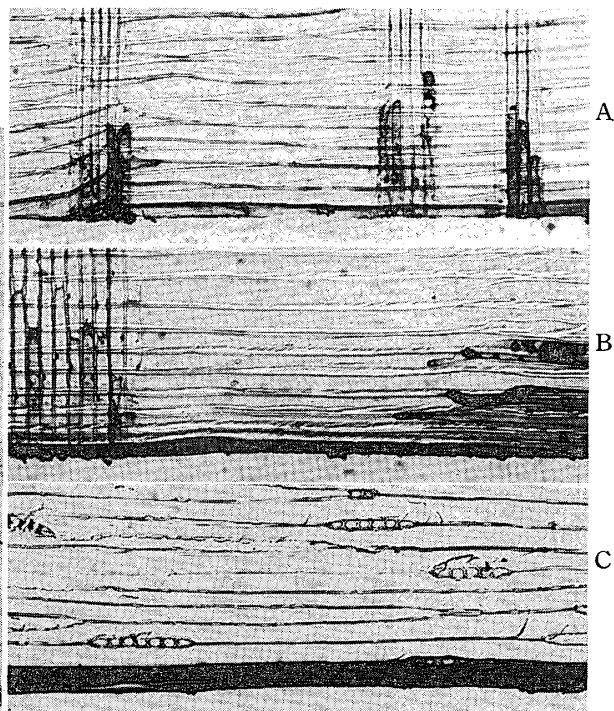


Fig. 12. Ordinary transverse-penetration of softwoods, very slow and few both in the axial elements and rays.

A : Hinoki, (*r/t*), (70×), B : Sugi, (*r/t*), (75×), C : Sugi, (*t/r*), (80×)

いえ髄線においてもスギ，ヒノキでは普通は浸漬面に開口を有する細胞のみに止まり，自然浸透約10時間の範囲では2～3細胞上昇することさえ少ない。したがってそれから垂直要素，仮導管に浸透が移行した結果としての横浸透の総量もせいぜい4～5層を出ないし，多少の加圧も殆んどその効果は認められない。

ただ髄線に浸透し易いクロマツは，スギ，ヒノキに比すればかなり深達性で，わずかの時間に数年輪巾にわたって自然浸透することさえある (Fig. 11)。加圧すれば圧力に応じて浸透はさらに進行するが，木口面からの仮導管への縦浸透ほどには進まない。また髄線中に水平樹脂溝が存する場合，その樹脂溝のみを著しく先行することはなかった。

ヒノキでは，クロマツとちがつて，柾目面からの横浸透にも髄線があまり役立たない。浸透領域中の髄線にも全く浸透を見ない場合さえ往往にして認められた。スギの髄線における浸透ももちろんクロマツの比ではないが，ヒノキよりは容易であり，浸透領域にやや先行する傾向がある。とはいえスギ，ヒノキの横浸透は上述の通りまことに緩慢である (Fig. 12)。

なお，横浸透観察のためには浸漬面に細胞軸がなるべく平行になるよう試片を木取つたが，細胞に沿って正しく鉋削することはもとより不可能であり，局部的に内腔が露呈すればその個所からその細胞についての縦浸透がおこる。同様に小試片では一旦内腔に浸透したものが両端木口面に達すると，木口を浸潤上昇して再び縦浸透によつて逆行する結果，あたかも横浸透が相当進んだかの如き誤認に陥り易い点にはとくに注意して観察した。

広葉樹材の縦浸透について

広葉樹材の縦浸透にも前記の率先浸透が見られる。広葉樹の場合，填充体 (Tylosis) の発達さえなければ，浸透はその導管に始まる。そしてある少数の導管に限り率先浸透があらわれ，加圧すればその先行が著しく助長される (Fig. 13)。これら率先浸透の細胞は特に抵抗の少ない

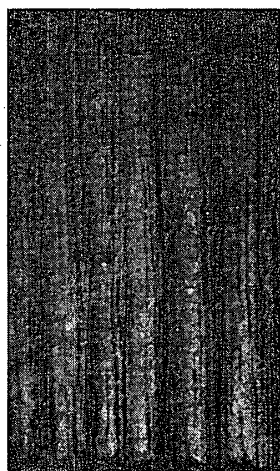


Fig. 13. Preferential penetration of a vessel. Shioji, (r/x), (20×)



Fig. 14. Capillary penetration into two rows of vessels. Shioji, (t/x), D.O., (20×)

ものに相違ないが、それが案外少数なる点は注目に値しよう。

導管内の浸透進行 (Fig. 14) は、導管節間の穿孔板ないしは穿孔環の影響として、波状の週期をあらわし、針葉樹の仮導管内におけるほど円滑ではないが、各導管節における停滞は著しくないので、案外速かに進行する。ただし後続液、染料の補充がなくなれば直ちに浸透が止まる。のみならず管孔径が大きいだけにしばしば後退がおこる。

このようにして後退した導管の内壁は全く染色されていないことを発見した。このことがどの樹種にも認められるかどうかを確かめるにはさらに追試を必要とするが、少くとも供試したシオジ、ラワンについては顕著な事実である。両樹種の縦断面に筆で染料を塗りつけてから吸取紙で余剰の染料を除去すると、その材面は全面的に染色されているにもかかわらず、導管内壁のみは未染色の状態に残され、これを連続回数繰返しても変らなかつた (Fig. 15)。

したがって、導管内壁は、撥水性とまではいえないまでも、親水性に富んでいるとはいえないのではないかと。少なくとも色素を吸着する性質に欠けている、と見なければならぬ。

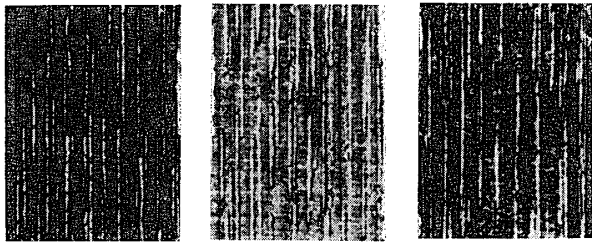


Fig. 15. Showing repellency for stains or, at least, nonabsorptive features for pigments on the inner walls of vessels, which remain unstained after repeated brushing of stains (from left, safranin, acid fuchsin, and blue-black ink). Shioji, (r), ($2\times$)

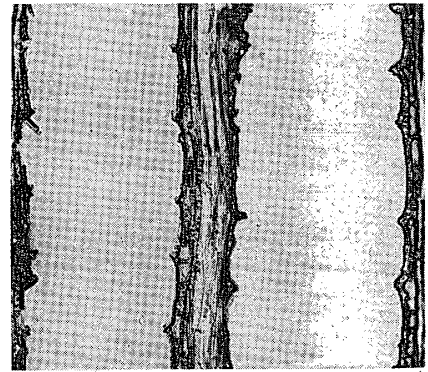


Fig. 16. Vessels, stained (right) and unstained (left), from a section of stained Shioji specimen. The left one may not always mean that it had never been penetrated by the stain. (r/x), ($25\times$)

もつとも静的観察に使う試片は切片をとる前に乾燥させるので、当時染料の充満していた導管の内壁には、たとえば Fig. 16 の右側の導管に見るように色素の沈殿が見られるが、左側の導管のように色素が沈殿していないものを未浸透とみなすことには疑問が生ずる理である。

縦浸透における導管から隣接細胞への並列的浸透も決して著しくない。それでも導管、木柔細胞、髓線柔細胞へは比較的容易に浸透するが木繊維への並列浸透はむしろ稀である (Fig. 17)。

導管の浸透に関して填充体発達のいかんはもちろん問題である。試材中ラワンにはそれがかなり発達していた (Fig. 18) ので導管への浸透は殆んど阻止され、したがって浸透は全面的に遅延として進まなかつた。

木繊維における縦浸透は最も遅れる。かなり圧力を加えるか、あるいは回りの細胞に浸透が充分進めば誘引されたような状態で先頭が進む。

木柔細胞への浸透はたいてい隣接細胞からのもので木柔細胞相互の縦浸透はやはり困難である。

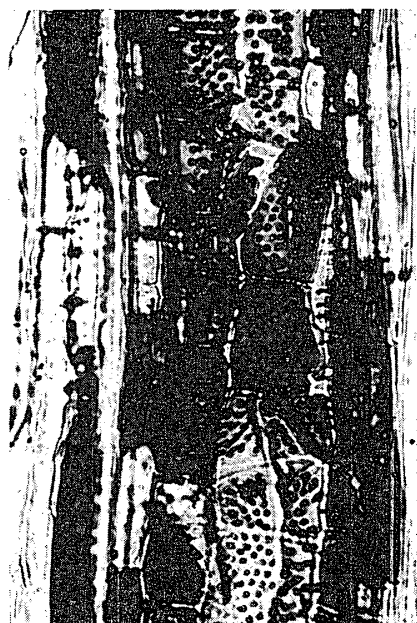


Fig. 17. Penetrated state of parenchyma-cells surrounding a vessel. Shioji, (r/x), (290 $\times$)



Fig. 18. Vessels with tyloses (left) and without them (right) in Red lauan wood surface. (t), (35 $\times$)

髄線への浸透もあまり著しくない。ブナでさえもクロマツに比すればはるかに浸透しにくい。ブナの広髄線すなわち複合髄線(Compound ray)もまた例外ではない。

なお上記からも推察できるように、広葉樹の場合、その春秋材別の浸透の難易はむしろ導管の大きさおよび分布の差異として理解できそうであり、心辺材別の浸透の難易に対しては先ず填充体発達の差異を考察すべきものと思われる。

広葉樹材の横浸透について

広葉樹材についても針葉樹材同様、横浸透は縦浸透に比して著しく困難である。

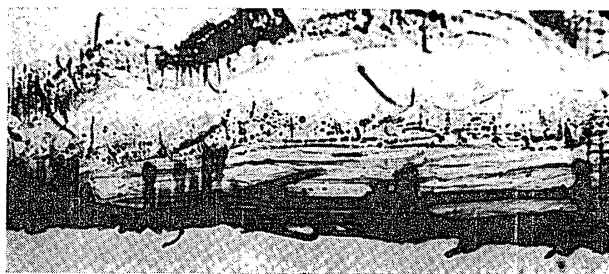


Fig. 19. Transverse penetration into wood of Shioji. Generally, hardwood show similarly slow and few penetration as softwood. (r/t), (90 $\times$)

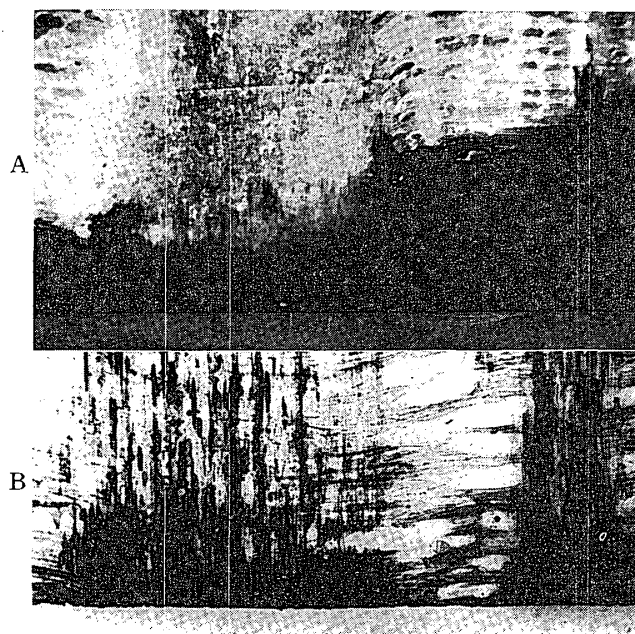


Fig. 20. Transverse penetration of Buna wood with compound rays. (r/t)

A : D. O., (18 $\times$)

B : In the rays, confusing black spots or lines in the upper half of this figure are not stained but contained original substances. (30 $\times$)

板目面からの浸透には髄線が多少役立つかのように見えても、10時間程度の自然浸透では数細胞に及ぶことは少ない (Fig. 19)。ブナの複合髄線もまた同様である (Fig. 20)。

結 言

以上少数樹種についての予察結果から直ちに結論を下すことは避けたいが、木材に水が浸透する場合、

1. 浸透について主導的な立場にある要素は、針葉樹では仮導管、広葉樹では導管であること、
 2. 導管中に填充体の発達 of 著しい場合には、それによつて浸透が決定的に阻止されること、
 3. 針葉樹中樹脂溝を有する樹種では、その樹脂溝も浸透の主導者に加わるのはもちろんであるが、それが組織中に占める割合からすれば特に重視するに当たらないこと、
 4. 髄線の浸透難易はその樹種の浸透難易を支配する要因の1つであり、広髄線必ずしも浸透に有効に役立つとはいえないこと、
 5. 幹軸に対して直角方向の浸透 (横浸透) は、髄線がかなり浸透性に富んでいる場合以外、殆んど考慮するに足りないこと、
- などの諸点が印象に残る。

一般に液体浸透の難易はかかつて紋孔膜に存する孔隙の大きさいかにあるとされ、それが上記事象の原因、要点であることは推察に難くない。しかし、現段階においては、与えられた樹種あるいは試片の液体浸透性を光学顕微鏡的に把握することの意義もまた大きいと思われる。

Résumé

With the aim to trace the *course of water penetration*, each 3 species of softwood and hardwood (Table 1) were observed microscopically by the aid of a stain, 0.5% aqueous solution of acid-fuchsin.

Certainly the movement of water differs from that of solution. But, so far as the movement through cell lumina, and not through cell walls which is beyond visible limit of light microscope, is concerned, both kinds of liquids, water and solution, seem to take nearly similar action. And, at least in the case of water, wood can reach to the saturation state only through the process of so-called *initial penetration*, without through that of the *final penetration*.

Thus, it is the most important question whether separation or precedence of water from stain occurs or not during the penetration into wood. To solve above question the application of acid-fuchsin is decided from the result of selection by the *filterpaper tests* dropping 7 sorts of stains including red and blue-black inks (Table 2, and Fig. 1).

Ordinarily, *static method* of observing penetration courses is a way of resultant survey of stained specimens by splitting or cutting them on the way of penetration. In this investigation, a *dynamic method* of observation was added to catch the capillary penetration movement on the wood surface by covering it

with transparent vinyl-adhesive tape, since the penetration on the tape-sticked surface reveals almost actual state on internal penetration. (Fig. 2) And the observation was mostly carried on under the conditions of *natural penetration*, without giving pressure to the stain.

This experiment is merely a preliminary observation of only several species of wood, therefore, it is to be avoided to make any decisive conclusions from the result obtained. But the most impressive matters are as follows :

On the occasion of water penetration into wood,

1. the leading member of penetration is tracheids, in the case of softwood (Fig. 5-8), and vessels, of hardwood (Fig. 13, 14). Hence,
2. in the hardwood species which have considerable development of tyloses in their vessels, the penetration is conclusively obstructed by the tyloses.
3. In the softwood species with resin canals these also play a leading role to the penetration, of course (Fig. 4), but they are not a matter of importance from the view point of their proportion to the whole wood volume.
4. The difficulty of penetration into rays is also one of the important factors controlling penetrability of the wood species (Fig. 10, 11), and the so-called broad rays do not always serve effectively for the penetration.
5. The transverse penetration, perpendicular to the axial direction, is hardly worth of consideration (Fig. 12, 19, 20) unless the rays of wood concerned have considerable penetrability (Fig. 11).

In general, it is not difficult to appreciate that the difficulty of liquid penetration into wood depends on the hole size of its pit membranes and that this is a cause and key-point to the above mentioned. In the present stage, however, it is also true that the *light microscopy* may give an effective resolution to estimate the penetrability of a given wood species or specimens.

文 献

- 1) 原田浩：林業試験場研究報告 104, 79~80 (1958)
- 2) Stamm, L. E., Jahn, E. C. : Wood Chemistry, 2nd ed., Vol. 2, 807 (1952)
- 3) Stone, J. E., Förderreuther, C. : TAPPI 39, 679 (1956)