

木材に対する液体浸透機構の解剖学的解釈（綜説）

貴 島 恒 夫

Review on the Anatomical Interpretation of Liquid Penetration into Wood.

Tsuneco KISHIMA

目 次

浸 透	267	紋 孔 閉 鎖	272
流動浸透経路	268	引 用 文 献	273
紋孔膜の構造	271	Summary	274

木材中への液体の浸透機構は木材の処理・挙動に関係するところ極めて広範多岐にわたっているの
で、既往の関係文献からの総説もとより容易ではないが、あえて木材組織分野からの概観を試みよう
とするのは、個々の浸透事象の理解に資するとともに、さらに検討を要する点を明らかにしたいため
に外ならない。

浸 透 (penetration)

STONE & FÖRDERREUTHER (1956)^{*註}〔42〕は木材への液体の浸透を規制し得る因子を次のように要
約している。

木材については毛管構造 (capillary structure), 湿気の圧力 (pressure of moisture), 空気の存在
(presence of air), 液体については組成 (composition), 温度 (temperature), 圧力 (pressure), 粘
度 (viscosity), 表面張力 (surface tension) である。

木材組織そのものは毛管系に外ならないので、以下の記述では上の因子中毛管構造を主とし、必要
に応じて他の因子に及ぶことになる。

木材に対しての液体の浸透とは、半透膜に関しての osmosis (滲透)**のみをいうものではなく、
ひろく液体の木材中での動き (movement) 或は流れ (flowing) を意味するものと解さねばならない
〔42〕〔43〕。

この意味の浸透においては STONE 等〔42〕〔43〕の指摘するように、

- 1) 圧力差 (pressure gradient) によつておこる木材の毛管中における液体の動き、即ち (狭義の)
浸透と、
- 2) 溶液の濃度差 (concentration gradient) によつておこる水 (一般には溶媒) を通じての (溶質)
イオンの動き、即ち拡散 (diffusion),

との機構を区別して考える必要がある。そうすると浸透には広狭2義が存在することになるので、以下
必要に応じて、1) を流動浸透 (flow-penetration)***, 2) を拡散浸透 (diffuse-penetration)*** と明
記する。

木材組織中導管の内腔や細胞間溝 (樹脂溝) を含む細胞間隙中での液体の動きは細胞膜を透過する
ことなくおこり得るが、他の要素即ち仮導管、木繊維、柔細胞など閉鎖形の細胞内腔へ液体が移動す

* 京都大学木材研究所木材生物第1研究室

** 「滲」の字は当用漢字外なので、これも同じく「浸透」と記入される。

*** 仮称

るには、細胞の長さの方向への直列的浸透即ち縦浸透 (longitudinal penetration) にしろ、それに直角方向の並列的浸透即ち横浸透 (transverse penetration) にしろ、必ず紋孔対を通過しなければならない理である。事実この場合液体は概ね流動浸透的挙動をとることは次節に述べる通りである。

流動浸透においては毛管に関する POISEUILLE の法則が示すように、比較的大径の細胞の平行して存在する部分、例えば針葉樹の春材に液体がよく浸透し、小径細胞が平行している部分、例えば針葉樹の秋材では毛管引力が大きいので液体は深く浸透するけれども、一面抵抗も大きいので加圧などの効果は少ない〔19〕。

細胞膜内では毛管が余りに小さいので液体の流動浸透に対しては無効である〔42〕。細胞膜中への液体の浸透は主として結合水(吸着水)の存在を前提とする水溶液の拡散において可能であり、油性或は油性防腐剤が細胞膜に浸透し得ないのはそれが水溶性でないからである〔19〕。

拡散浸透は毛管の大きさよりもむしろその横断面積の和に比例し〔40〕〔6〕、拡散浸透の速度は流動浸透のそれに比すれば格段に小さい〔40〕ので、少なくとも浸透の当初においては拡散の有無は問題ではないが、木材の含水率が高い場合ことに飽水材に対しては却つて拡散が最も有効であり、また細胞膜の組織もイオンに関してはなお充分粗雑なものであるから短かい距離に浸透を期するには拡散が有効な手段となる〔42〕。

ただ細胞膜への拡散浸透機構は光学顕微鏡可視限界を超えた微細領域に属するもので、近年漸く若干の溶液についてその結晶が細胞膜中に検出されている〔8〕〔48〕ものの、この分野に関しては概ね今後の研究に期待しなければならない現状である。もつともその機構そのものは流動浸透のそれに比すれば遙かに変化の少ないものであろうことは推察されている〔43〕。

なお水溶液の浸透に関して、一般にアルカリ性溶液が酸性溶液よりかなり速かに木材に浸透し、かつ構造的3方向にはほぼ同率を以て浸透し得るものと信じられているが、これは常圧における流動浸透に関する限り真ではない。アルカリ溶液は常圧ではむしろ酸性溶液より緩慢に流動浸透するものであり、3方向に同率に浸透するというのは細胞膜がそのアルカリ溶液によつて膨潤した場合の拡散浸透のみについて言えることである〔42〕。

流動浸透経路 (flow-penetration paths)

細胞の内腔或は間隙を通つての液体の流動浸透の経路は大体光学顕微鏡的に観察が可能である。ここには Buro & Buro (1959)〔5〕の Kiefer (*Pinus silvestris* L.) 材に河過性色素の水溶液、パラフィンなどを浸透せしめた結果の考察、STONE & GREEN (1959)〔43〕の広葉樹材についての研究、および貴島・林 (1960)〔28〕の針・広葉樹材各3種にフクシンの水溶液を浸透せしめ、在来の染色切片による結果的観察に透明ビニルテープを貼付しての材面における浸透状態の動的観察を併用した結果を骨子として一応の見解を構成してみる。

ただし以下大体液体の粘度・圧力など諸条件にかかわらず記述を進めているのは、それが液体の究極の分布を支配するとはいへ、浸透経路そのものには殆んど無関係である〔39〕と見なしてのことである。

針葉樹材における液体浸透の主導要素は、基礎組織を構成している仮導管である〔1〕〔5〕〔26〕〔28〕。縦浸透はまず仮導管に始まる。垂直細胞間溝を有する樹種においてはその溝内にも同時に浸透が始まり、少なくとも浸透の当初にはそれが率先する傾向(率先浸透 preferential penetration)*

* 仮称

が認められる〔5〕〔28〕が、溝内には樹脂や填充様体 (tylosoid) などの障害もあり〔29〕、垂直細胞間溝の木材組織中に占める割合も少ない(1%以下)からこれをとくに重視するには当たらない〔19〕〔28〕。ことにパラフィン(易浸透材 (receptive wood) の代表 Kiefer においてさえもほんの僅かしか浸透しない〔5〕)。

仮導管内腔では流動浸透は円滑に進行するが、各細胞端においては重紋孔対通過のために停滞するので細胞が多少階層的に並列している仮導管組織中では浸透も階層的に進行する傾向(階層浸透 storied penetration)* が見られる (Fig. 1), のみならず直列仮導管中にも少数ながら孤立的に他にぬきこんで細胞間溝にもまさる率先浸透が見られることがある〔28〕。

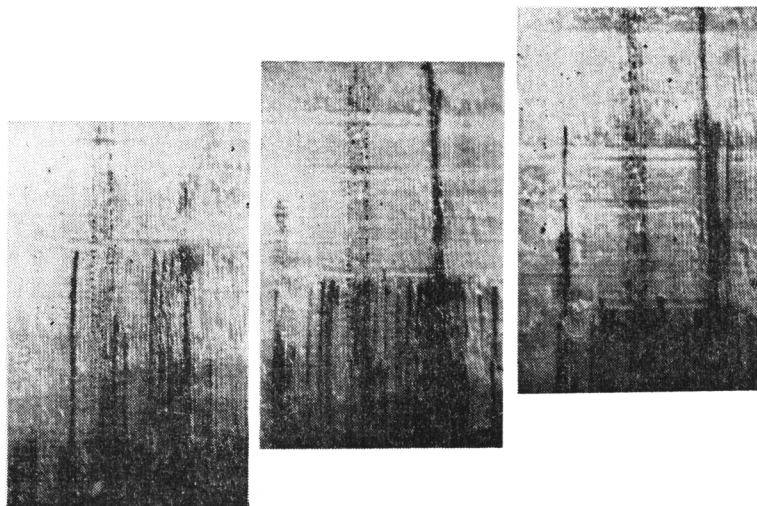


Fig. 1. Storied penetration caused by the storied arrangement of coniferous tracheids. Each photo (left to right) is taken at 2 min. interval of natural penetration. Hinoki *Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc.) $\times 15$.

秋材が春材より液体を強く浸透させる〔19〕のはしばしば液体が秋材に集中することで明らかであるが、これは秋材の方が浸透容易というのではなく、秋材仮導管は直径が小さく毛管引力が大きいことによるものである〔5〕。他面直径が小さいほど抵抗が大きい関係もあつて、春・秋材別に見た浸透状態には樹種によるかなりの差異が認められる〔28〕。パラフィンなど油性防腐剤では春・秋材間に浸透性の差異はない〔4〕〔47〕。

垂直要素としての木柔細胞は殆んど浸透に役立たない。隣接細胞からの浸透を許すにとどまる〔5〕〔19〕〔28〕とみてよい。髄線柔細胞も細胞間溝の溝周細胞も同様である〔5〕〔28〕。ただ hard pine (*Pinus* 中の *Diploxydon*) 材の髄線柔細胞の分野紋孔は窓状(窓状紋孔対 window-like pit pair)であり、これがある種の液体、少なくとも水を比較的良好に透過させ、ひいてはこの種の材を易浸透たらしめる一因となつていられるように思われる〔28〕。しかしこの窓状紋孔対の透過はなお多分に拡散的で浸透速度は小さい〔5〕〔28〕。また LIESE (1956) は破壊された窓状紋孔膜の電顕写真を得ている〔34〕し、貴島・林 (1960) 〔27〕も接着剤がクロマツの窓状紋孔対を突破して横浸透する事実を観察している (Fig. 2) ので、窓状紋孔膜は面積が広いだけに破壊され易いものと見てよいのかも知れない。

髄線仮導管については、貴島・林 (1960) 〔28〕はクロマツの辺材においてさえ必ずしも髄線柔細

* 仮称

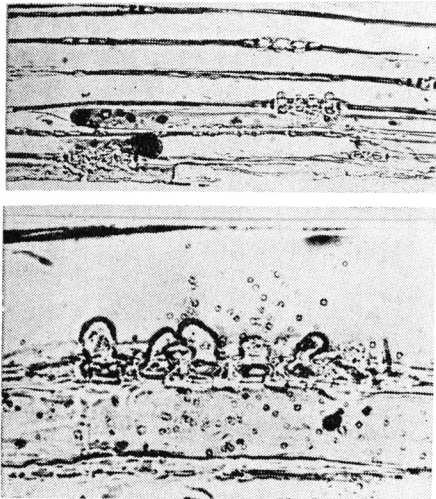


Fig. 2. Transverse penetration of adhesive passing through the window-like pit pairs of ray. Kuromatsu (*Pinus thunbergii* Parl.) t, upper: 95 \times , lower: 320 \times .

とにかく閉鎖形の細胞の直列的浸透に比すればその並列的浸透が著しく困難であることは一般的な事実である。とすればその細胞の両端部に存し直列浸透に関与する紋孔対と細胞の側膜に存し並列浸透に関与するそれとでは、紋孔膜の組織構造に当然差異があるはずであると考えられるが、この点まだ詳らかでない。

なお垂直仮導管の重紋孔はその殆んどが半径膜にあり、接線膜の重紋孔は形も非常に小さく生長輪界の極く限られた細胞層のみに存するに過ぎないので、放射方向への浸透に対しては殆んど問題にならない〔5〕。従つて仮導管相互の並列浸透は専ら接線方向に限られる。

また細胞膜に菌糸による穿孔や破壊的ないし裂隙的開口があればもちろん浸透に直接有効である〔5〕が、アテ (compression wood) や樹心部の秋材に著しい仮導管膜のラセン状裂隙 (spiral crack) は細胞膜中の二次膜のみの裂隙であつて細胞間層を含む中葉層 (middle lamella) まではその裂開が及んでいないので浸透には一応関係がない〔1〕〔5〕ものと考えられる。木材の乾燥機構に関する TIEMANN (1910) の法則 (slit hypothesis)〔46〕もこの点で否定されたのである〔1〕〔5〕。

広葉樹材では、填充体 (tylosis) や樹脂、ゴム質物など内容物の障害さえなければ、液体の浸透に対しては導管が主導的な役割を果す〔28〕〔43〕。従つて少なくとも浸透の当初には環孔材より散孔材に浸透が均等であり、環孔材では秋材より春材に浸透容易である〔19〕。ただし広葉樹材の基礎組織を構成するものは一般には木繊維であるから、一旦導管中へ浸透した液体がその回りの要素へ移り得る可能性もまた肝要である〔19〕。

導管の中にも少数のものに率先浸透が認められ、加圧すればその浸透は著しく助長される〔28〕。導管内腔での浸透進行にも、導管節間の穿孔板ないし穿孔環の影響で、こまかい週期はあるが、その停滞は著しくないので案外円滑かつ迅速に浸透する〔28〕。

導管内での浸透に関して最も問題になるのは填充体の発達いかんである。その発達の程度には樹種により部位によつてかなり大きい変差がある〔7〕〔20〕〔49〕が、内腔をほぼ充満する程度にも達していればその材への液体の流動浸透は決定的に阻止される〔28〕。填充体の発達は通例心材に著しいが辺材にもそれがあつた〔20〕。散孔材の心材が環孔材のそれより却つて不均等な浸透状態をあらわす

胞より浸透性がすぐれているとはいえないとみているに対して、BURO & SURO (1959)〔5〕は kiefer の髄線中ではその仮導管にパラフィンが優先的に縦浸透し、コールタール・ピッチもまた主に髄線仮導管にのみ浸透したという。

いずれにしても髄線を通つての液体の水平・放射方向への浸透はとくに易浸透な樹種以外では殆んど問題ではないとみてよい〔28〕。

以上針葉樹の各要素についての縦浸透を述べたが、それに較べると横浸透は格段に困難である〔28〕〔42〕。圧力を加えない限り、また細胞間隙や細胞膜に孔隙・開口の存しない限り、数細胞にわたつて並列的浸透を見ることは各種細胞ともに少ない。もつとも髄線にまず縦浸透した液体が垂直細胞に移れば結果としては数細胞にわたつて横浸透したと同じ結果となる。髄線が比較的易浸透なクロマツ辺材などでは非加圧・自然浸透においてもこの髄線への縦浸透が数年輪に及ぶことさえある〔28〕。

ことのあるのは、填充体や樹脂の分布が不規則なことによる場合が多い。〔35〕。

広葉樹材の木繊維、仮導管、木柔細胞ならびに髄線柔細胞など閉鎖形要素は浸透に対して殆んど役立たない。中でも木繊維は内腔狭く、紋孔も小さくかつ少ないために、相互の並列的流動浸透はむしろ稀であるから、究極における木繊維への液体の浸透は主に拡散によるものと考えてよい〔28〕〔43〕。もつとも hickory (*Carya* sp.) の心材では木繊維の方が導管より易浸透である〔13〕〔45〕などという著しい例外もある。要するに閉鎖形細胞への浸透は縦・横両方向ともに困難である。〔28〕。

広葉樹材板目面からの浸透には髄線が多少役立つかに見えても、実際には殆んど問題にならない。複合髄線、集合髄線など多列高髄線また同様である〔28〕。

なお針・広葉樹材を通じて辺材が心材よりはるかに浸透し易いことは周知の事実である。ただし心材は浸透難易についての変差が大きく、樹種によつては逆に心材の方が易浸透の場合もあるし、加圧下においてのみ易浸透のものもないではない。また実用的には不浸透 (impenetrable) といつてよいほど難浸透 (resistant) なものもある〔19〕〔35〕。概して心材に浸透困難な理由は結局心材化に帰着せざるを得ないが、現在では細胞の死、樹脂・ゴム・タンニンなどの集積、それにもとづく細胞膜の硬化、導管や細胞間溝が填充体あるいは填充様体・樹脂その他の内容物によつて閉塞されること、重紋孔に樹脂が沈着すること (Fig. 3) などによるもの〔19〕と推察されているに過ぎず、昨今活発な心材化現象研究の成果に期待するところが大きい。

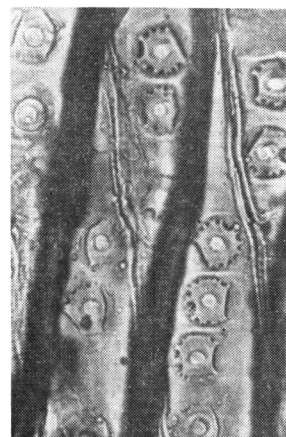


Fig. 3.
Resin existing in the margins
of bordered pit chambers.
Heartwood of Akamatsu (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.),
r, 320 \times .

紋孔膜の構造 (pit membrane structure)

木材組織中の流動浸透においては細胞相互間の紋孔対が隘路であり、浸透の難易はその紋孔膜に存する孔隙の大ききいかんにかかっている。上記流動浸透経路からは、各種要素の直列・並列的組合せによる各種紋孔対の示す透過性の結果的推察はある程度可能であるが、それを理解するためには紋孔膜の構造を知らねばならない。

針葉樹材仮導管の重紋孔膜は全面均質なものでないことは NÄGELI (1864)〔36〕, RUSLOW (1883)〔38〕等〔44〕もすでに認めており、その中央にある円節が細胞間層とその両面の一次膜との3層から成っていることは BAILEY & KERR (1935)〔3〕以来の定説である。原田・宮崎・若島 (1958)〔17〕はさらにその両表面には二次膜外層にあたる肥厚層があるとの見解をもっている。

紋孔膜の円節以外の部分すなわち円節を囲む閉鎖膜 (closing membrane) に孔隙らしいもののあることも既に RUSLOW (1883)〔38〕や BAILEY (1913)〔8〕によつて *Pinus* や *Larix* について光顕的に指摘され、その孔隙の大きさも一部光顕あるいは電顕的に測定されている〔2〕〔9〕〔33〕。LIESE & FAHNENBROCK (1952)〔31〕は Kiefer に円節を中心として放射状に配列した集束マイクロファイブリル (Haltefaden) を認めているし、原田・宮崎 (1953)〔16〕もアカマツ、ヒノキ、スギ、エゾマツにこれを見出している。LIESE & JOHANN (1954)〔33〕は Kiefer Fichte (*Picea abies* Karst.) および Lärche (*Larix europea* DC.) の集束マイクロファイブリルの孔隙の大きさを測定し FREY-WYSSLING (1959)〔12〕もそれが超顕微鏡的なものであることを確認している。

ところが FREY-WYSSLING & BOSSHARD (1953) [10] は Fichte, Tanne (*Abies alba* Miller) の幼条において閉鎖膜に電顕的孔隙のないものを発見し、さらにその後これが集束マイクロフィブリルに変移することを明らかにした [11]。また STEMSRUD (1956) [41] は Kiefer と Tanne について集束マイクロフィブリルの間に単独マイクロフィブリルからなる Ultrafilter を認めている。これらの点について原田・宮崎・若島 (1958) [17] [18] は、1) 木化を完了した仮導管の閉鎖膜には細胞間層はなく、2) 閉鎖膜は幅 600~1,000 Å の集束マイクロフィブリルとこれと交叉している幅 200 Å の非集束マイクロフィブリルからなり、その間に孔隙が存在し、3) 閉鎖膜の孔隙は一般に春材仮導管では約 2,000 Å の直径をもつ粒子を容易に透過し得る程度の疎構造であり、秋材に移行するに従つてマイクロフィブリルの数は増加し孔隙は小さくなつていわゆる密構造となる。また同じく重紋孔対でも、仮導管と髄線仮導管、または髄線仮導管相互間の紋孔膜の閉鎖膜は秋材仮導管のそれに近い密構造である、との見解をもっている。

一方 JAYMR & HUNGER (1955) [21] はパルプ繊維中に僅かに組織のあらい一次膜的 interwoven の紋孔膜を見出し、その後の研究の結果彼等は Kiefer および Fichte について結局次のような見解に到達した [22] [23] [24]。すなわち、1) 紋孔膜は 2 層の一次膜からなり、相互に interwoven の関係はなく、各一次膜のマイクロフィブリルも特定の方向性をもたないものが多く、2) 仮導管から水が退くにあつて紋孔膜はその方向に引き付けられ、一次膜のゆるい組織が中央に絞られた結果マイクロフィブリルが同心円的に平行に配列して成つた肥厚部分すなわち 円節が形成され、3) 同時にその部分と紋孔環との間の多数のマイクロフィブリルが破断し、残つたものが集束マイクロフィブリルを形成する。つまり吸着閉鎖された重紋孔対には円節ができていて集束マイクロフィブリルによつて保持されているが、これは 2 次的に現われた構造である、というのである。そしてさらに一旦完全に吸着閉鎖した紋孔膜も水の流れの逆転があれば開放するが、構造は再び元には戻らないと見ている [24]。

いずれにしても、円節ができてこれが紋孔口に密着すれば、閉鎖膜には充分の孔隙が存在しても、液体の流動は阻止されるはずであるが、それでもなお円節そのものが完全な密構造であるかどうかの吟味が必要であり [24]、さらに針葉樹の一半の樹種に見られる重紋孔輪帯面のイボ状構造 (wart-like structure) [17] について、LIESE & FAHNENBROCK (1953) [32] はこれが円節の紋孔口への密着閉鎖を妨げ、Fichte や Lärche に比して Kiefer の材を易浸透ならしめているとしている点などを考慮する必要がある。

以上は針葉樹仮導管の重紋孔膜の構造であるが、その他の紋孔対すなわち半重紋孔対、単紋孔対あるいは広葉樹の重紋孔対の紋孔膜には一般に円節はない。原田・宮崎・若島 (1958) [17] も電顕的にこれを肯定し、これらの紋孔膜にもやはり細胞間層を挟んで 2 層の一次膜があり、そのマイクロフィブリルは介存物によつて強く包埋されているので殆んど孔隙がなく、従つて液体の透過は極めて困難であろうとみている [17] [18]。

紋 孔 閉 鎖 (pit closure)

針葉樹仮導管の重紋孔対の閉鎖膜に液体を透過させるに充分な孔隙があつても、円節が存在してこれが紋孔口に吸着されそれを閉鎖すれば、液体の流動浸透にはなおかなりの阻止作用を及ぼすはずである。この意味においてこの閉鎖紋孔対、一名吸着紋孔対 (aspirated pit pair) が依然問題になる。

一応の通念としては、針葉樹生材の辺材仮導管における重紋孔対は大方非閉鎖・開放状態にあるが、その心材や乾燥材では春材仮導管の重紋孔対が閉鎖状態にあり、秋材仮導管や髄線仮導管のそれは非

閉鎖状態にとどまっているという古くからの説〔38〕〔44〕がおこなわれている。それにしても重紋孔が閉鎖状態にあるか否かによつて、一律に心材辺材を区別すること〔25〕は乾燥材には不適である〔37〕。

PHILLIPS (1933)〔37〕は、木材の含水率と閉鎖紋孔対の割合との関係はむしろ不規則なもので、このことは春材においてとくに著しいとなし、次の見解を述べている。すなわち、1) 生材で自由水がまだかなり存在していても閉鎖紋孔対は現われる。2) 材が乾燥するにつれて閉鎖紋孔対は増加し、繊維飽和点において殆んどすべての春材紋孔対は閉鎖する。3) 乾燥材でも秋材紋孔対の一部は非閉鎖のままである。4) 一旦乾燥した材を再び浸水しても重紋孔対を非閉鎖・開放状態にもどすことはできない、というのである。

さらに彼の見解〔37〕では、秋材の紋孔膜は春材のそれより丈夫であつて、その rigidity と円節の inertia とが吸着閉鎖に抵抗するのみならず、秋材の円節も春材のそれに比して inflexible で厚い。従つて閉鎖紋孔対の割合は春材から秋材へと増加し、その変化は自然木材の密度、細胞膜の厚みに比例し、重紋孔の直径に逆比例する。

なおアルコールに浸漬した生材からアルコールが蒸発するときには重紋孔対の閉鎖が一般に起らないのは GRIFFIN (1919)〔14〕の見出したことであるが、PHILLIPS (1933)〔37〕の実験では Douglas fir (*Pseudotsuga taxifolia* Britt.), Scots Pine (*Pinus silvestris* L.) にはこの紋孔膜固定作用は有効であり、アルコールの表面張力が水の 1/3 に過ぎないために閉鎖がおこらなかつたのに対して、Corsican pine (*P. nigra* var. *calabrica*) では無効なのは、この樹種が樹脂に富みそれが溶け込んでアルコールの表面張力が約19%大きくなつたために閉鎖をおこしたものと解している。

以上で組織構造的な浸透機構の概観を終るが、依然、心材化現象をはじめ、加圧処理、液体の組成などが構造的に見た浸透のあり方にどのように影響するか等、重要な問題の多くが今後委ねられているとみななければならない。

引用文献

- [1] Bailey, I. W. (1913) For. Quart. 11: 12-20—“Contributions to Plant Anatomy” (1954) by Bailey: 207-212.
- [2] Bailey, I. W. (1916) Bot. Gaz. 62: 133.
- [3] Bailey, I. W. and Kerr, T. (1935) Jour. Arn. Arbor. 16: 237-300 — “Contributions to Plant Anatomy” (1954) by Bailey: 72-90.
- [4] Buro, A. (1957) Holz a. Roh- u. Werkst. 15: 437-443.
- [5] Buro, A. und Buro, E.-A. (1959) Holzforschung 13: 71-77.
- [6] Burr, H. K. and Stamm, A. J. (1947) Jour. Phys. Chem. 51: 240.
- [7] Chattaway, M. M. (1949) Aust. Jour. Sci. Res. B-2: 227-240.
- [8] D'Ans, A. und Schulze, B. (1956) Holz a. Roh- u. Werkst. 14: 252-256.
- [9] Frenzel, P. (1929) Planta 8: 642.
- [10] Frey-Wyssling, A. und Bosshard, H. H. (1953) Holz a. Roh- u. Werkst. 11: 417-420.
- [11] Frey-Wyssling, A., Bosshard, H. H. und Mithlethaler, K. (1956) Planta 47: 115.
- [12] Frey-Wyssling, A. und Bosshard H. H. (1959) Holzforschung 15: 129-137.
- [13] Gerry, E. (1914) Jour. Agr. Res. 1: 445-470.
- [14] Griffin, G. J. (1919) (Am.) Jour. For. 17: 813-822.
- [15] Griffin, G. J. (1924) (Am.) Jour. For. 22: 82-83.
- [16] 原田 浩, 宮崎幸男 (1953) 日林誌 35: 194-200.
- [17] 原田 浩, 宮崎幸男, 若島妙子 (1958) 林試研報 (104): 1-115.
- [18] 原田 浩 (1961) 梶田茂編 “木材工学”: 56-85.

- [19] Hunt, G. M. and Garratt, G. A. (1938, rev. 1953) "Wood Preservation": 215-255.
- [20] 伊藤 貢, 貴島恒夫 (1951) 木材研究資料 (3): 44-55.
- [21] Jayme, G. und Hunger, G. (1955) Holz a. Roh- u. Werkst. **13**: 212-215.
- [22] Jayme, G. und Hunger, G. (1956) Monatsch. f. Chemie **86**: 8-23.
- [23] Jayme, G. und Fengel, D. (1959) Holz a. Roh- u. Werkst. **17**: 226-230.
- [24] Jayme, G., Hunger, G. und Fengel, D. (1960) Holzforschung **14**: 97-105.
- [25] Jeffrey, E. C. (1926) "Anatomy of Woody Plants": 56.
- [26] Johnston, H. W. and Maass, O. (1930) Canad. Jour. Res. **3**: 140.
- [27] 貴島恒夫, 林 昭三 (1960) 木材学会誌 **6**: 205-210.
- [28] 貴島恒夫, 林 昭三 (1960) 木材研究 (24): 33-45.
- [29] 貴島恒夫, 林 昭三 (1961) 木材研究 (25): 38-48.
- [30] Liese, W. (1951) Holz a. Roh- u. Werkst. **9**: 374-378.
- [31] Liese, W. und Fahnenbrock, M. H. (1952) Holz a. Roh- u. Werkst. **10**: 197-201.
- [32] Liese, W. und Fahnenbrock, M. H. (1953) Biochem. Biophys. Acta **11**: 190-198.
- [33] Liese, W. und Johann, I. (1954) Naturwiss. **41**: 579-581.
- [34] Liese, W. (1956) Die Holzind. (8): 1-6.
- [35] MacLean, J. D. (1935, rev. 1953) U. S. Dept. Agr., Misc. Pub. (224).
- [36] Nägeli, C. (1864) Sitzber. Bayer. Akad. Wiss., München (1): 282-323, **2**: 114-171.
- [37] Phillips, E. W. (1933) Forestry **7**: 109-120.
- [38] Russow, E. (1883) Bot. Centralb. **13**.
- [39] Schulze, R. und Theden, G. (1942) Wiss. Abhandl. dt. Materialprüfanst. **2** Folge, (3): 67-78.
- [40] Stamm, A. J. (1946) U. S. Dept. Agr., Tech. Bull. (929): 79 p.
- [41] Stemsrud, F. (1956) Holzforschung **10**: 67-75.
- [42] Stone, J. E. and Förderreuther, C. (1956) TAPPI **39**: 679-683.
- [43] Stone, J. E. and Green, H. V. (1959) TAPPI **42**: 700-709.
- [44] Strasburger, E. (1891) Histol. Beitr. **3**: 31.
- [45] Teesdale, C. H. (1914) U. S. Dept. Agr., Bull. (101).
- [46] Tiemann, H. D. (1910) Proc. Am. Railway Eng. and Maint. of Way Ass. **11**: 781-796.
- [47] Thunell, B. (1946) Svenska Träforskn. Inst., Trätekn. Avedeln. Medd. (9): 4.
- [48] Walters, C. S. and Côté, W. A. Jr. (1960) Holzforschung **14**: 183-189.
- [49] 山林 暹 (1938) 朝鮮木材の識別: 442-471.

Summary

This review involves a present anatomical interpretation on the mechanism of liquid penetration into wood, and reveals the followings:

- 1) There are different two types of mechanism, i. e. flow-penetration and diffuse-penetration, in the so-called liquid penetration into wood.
- 2) The flow-penetration paths of liquid have been clarified to a certain extent from the results obtained by the microscopical observation.
- 3) But the diffuse-penetration paths, and formation mechanism and structural detail of the cell wall pits, especially of the bordered pits in conifers, are not yet distinct enough to explain the liquid penetration, since they are beyond observation by the optical microscope.