HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	カラマツ仮道管における膜孔の分布
Author(s)	滝沢, 忠昭
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 31(3), 481-500
Issue Date	1974-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20945
Type	departmental bulletin paper
File Information	31(3)_P481-500.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

カラマツ仮道管における膜孔の分布

滝沢忠昭*

The Distribution of Pits on one Tracheid of Kara-Matsu (*Larix leptolepis* GORD.)

By

Tadaaki TAKIZAWA*

目　　次

1. 緒　　言 …… 481
2. 材料および実験方法 …… 482
3. 結果と考察 …… 482
3-1. 年輪内における仮道管の膜孔のあらわれかた …… 482
3-2. 仮道管における平均的な膜孔分布 …… 483
3-3. 仮道管に占める膜孔域の割合 …… 487
3-4. 仮道管における膜孔分布の実態 …… 492
4. 結　　論 …… 497
5. 要　　約 …… 497
文　　献 …… 498
Summary …… 499
写真とその説明

1. 緒　　言

著者は針葉樹樹幹内での水分上昇の機構を明らかにすることを目標としながら，仮道管から仮道管への水の通路としての膜孔の機能について検討するために必要とされる何点かの項目のうち，今まで，仮道管上の膜孔の数と分布について定量的な検討を進めてきた。また，これらの点が，木材を利用する際の基礎資料として針葉樹材の組織構造を理解する上からも重要な意義を持つものと考える。

すでに，著者はトドマツ（*Abies sachalinensis* MAST.）などの樹種について，仮道管一本あたりの膜孔数の樹幹内での変動傾向と，仮道管上での平均的な膜孔分布などについて明らかにしたが[2,6~9]，本研究では，カラマツ（*Larix leptolepis* GORD.）について，個々の仮道管上の膜

1974年7月31日受理

* 北海道大学農学部林産学科　木材理学教室
Laboratory of Wood Physics, Dept. of Forest Products, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

孔の存在，分布のより具体的な様相を明らかにし，さらにそれらを定量的に理解することを目的として検討を進めた。

そこで，まず，年輪内各材部における膜孔の存在する位置について詳細な観察を行ない，次いで，解架して得られた個々の仮道管における膜孔のあらわれ方を定量的に理解するための調査と解析を試み，膜孔の分布の実態を把握しようとした。これらの結果をここに報告する。

なお，本報告では，仮道管上に存在する膜孔のうち，仮道管相互の間の膜孔を T-T 膜孔，放射柔細胞，放射仮道管との間の膜孔二種類を一括して T-R 膜孔と呼ぶことにする。

2. 材料および実験方法

供試木として，北海道大学苫小牧地方演習林幌内事業区 39 林班から樹齢 35 年，樹高 18.85 m，胸高直径 28 cm の生長良好なカラマツ (*Larix leptolepis* GORD.) を一本採取した。

樹幹の胸高部 (地上高 1.2 m) から円板を一枚採取し，南側の材部で，半径方向に髄から樹皮までの小材片を二個とった。このうちの一方の小材片から，髄から離れ繊維長が定長に達している (成熟した) 心材部の一年輪につき，年輪内の仮道管の膜孔分布を調べるために，春材部から夏材部に向って厚さ 250 μ の解架用連続切片をとった。これらの切片には，採取した順に (すなわち，年輪の春材から夏材に向って) 1, 2, …, 12 と番号が附された。各切片は従来どうりの方法で解架され，検鏡用プレパラートが作成された[8]。仮道管上の膜孔の数と位置の測定は，切片番号 1, 4, 6, 8, 10, 12 の試料につき，著者がこれまで用いてきた方法によりなされた[8]。

他方の小材片から，SEM で材の組織を観察するために，半径面および接線面を滑走式ミクロトームで表面を仕上げた小片を適宜とり出し，常法により処理し，検鏡用試料を作成した。材組織における膜孔の観察は，日本電子 K.K. 製の走査電子顕微鏡 (JSM-2 型) を用いてなされた。

なお，著者は，仮道管上の膜孔のうち，放射柔細胞，放射仮道管との間の二種類の膜孔を T-R 膜孔と称した訳であるが，それは，膜孔分布を定量的に理解するための調査が組織を解架してとり出した仮道管についてなされ，この場合には，放射組織の細胞が仮道管から分離されてしまい，仮道管上で放射柔細胞，放射仮道管との間の二種類の膜孔は，光学顕微鏡下の観察では，その形態が類似しており区別しがたかったからである。

なお，組織を用いての観察によると，放射仮道管は，年輪内で春材部から夏材部にわたり，放射組織の両端に，ほとんどの場合 1～2 細胞が半径方向に並んで存在し，個々の軸方向仮道管との間におおむね 0～1 個の膜孔を持っているのが認められた。

3. 結果と考察

3-1. 年輪内における仮道管の膜孔のあらわれかた

一般に，針葉樹材では，有縁膜孔は春材部では仮道管の半径壁に，夏材部では接線壁に存

在するとされているが[1,4,5,10]，カラマツ材で年輪内における膜孔の存在位置を詳細に観察した結果は以下のようになる。

まず，T-T 膜孔について述べる。すなわち，T-T 膜孔は春材の一番内側の仮道管から，Photo 1 に示すように，半径壁に多数存在し，多くの場合，二列に並んでいる。膜孔の形はおおむね円形又は楕円形で，大きさは直径約 10～30 μ である。

しかし，この膜孔も，仮道管先端部では，仮道管相互の割り込み生長，あるいは，その際の放射組織との位置関係などにより，Photo 2 に示すように，半径壁のみならず接線壁に近い壁面にまで位置をかえて存在している。

年輪内で春材部から夏材部に向うにつれて，T-T 膜孔は，次第に数も少なくなり，寸法も小となり，形状も変化する。Photo 3 は年輪のなかほど Photo 4 はさらに夏材側の材部における膜孔の存在の状態である。

これまで，夏材部の T-T 膜孔につき，その仮道管上の存在位置については，半径壁のみならず接線壁にも存在するとされているが，詳細に観察すると，典型的な夏材部では，Photo 5 に示すように，仮道管の先端部の半径壁とみなせる位置に少数が存在し，中央部にはほとんど存在しなくなる。一方，夏材部のなかでも年輪界に近い数列の仮道管には Photo 6 に示すように，仮道管の先端部以外の位置で，その接線壁にごく少数の T-T 膜孔が存在する。これら夏材部の膜孔の形は，孔口がレンズ状となり，大きさは 5～14 μ となる。

年輪界における T-T 膜孔の分布は他の材部と著しく異っており，春材，夏材両仮道管の共通接線壁に Photo 7, 8 に示すように，小形の膜孔が仮道管一本あたり 200～400 個と非常に多数現われ，年輪界の接線壁上にほぼ一様に分布している。この膜孔は貴島[3]も指摘しているように，その発達がかなり著しく，生長期の始め形成層の活動開始にそなえてつくられるものであると考えることが出来よう。

一方，T-R 膜孔は，一年輪内をとおして，その存在位置が仮道管の半径壁のみに限られ，その形は不整楕円形で大きさは直径 2～5 μ である。なお，仮道管の半径壁の幅が春材部から夏材部にむかって減少するのにともない，一分野あたりの T-R 膜孔数も，春材部では 7～8 個であるが，夏材部では 1～2 個となる。

以上，おもに形態観察により得られた結果を検討してきたが，以下の議論をすすめるため，に，ここで，今回膜孔の分布を調査した年輪について，一仮道管あたりの膜孔数の年輪内変化を Fig. 1 に示す。この結果は，著者がおもに膜孔数に着目して，カラマツ，トドマツを調査して得た結果とよく一致した傾向を示している[2,6,9]。

3-2. 仮道管における平均的な膜孔分布

3-1. で述べたように，年輪内の各材部でその数，存在位置，寸法などに多様な変化のみられる膜孔について，各材部（切片番号 1, 4, 6, 8, 10, 12 の材部）より得られた多数の仮道管におけるその分布を検討することにする。

まず，各材部ごとに調査した50本の仮道管のそれぞれにつき，膜孔の分布に関する測定結果を，トドマツの仮道管での膜孔分布を検討した際に用いた定量化法[8]にもとずいて整理した。すなわち，個々の仮道管を長さ方向に20等分し，仮道管上で相対位置の異なる各部分（すなわち，各等分割域）に存在する膜孔の数，およびその出現率の50本あたりの平均値を計算した。こうして，年輪内各材部の仮道管における平均的な膜孔の分布を求めた。なお，3-1. でふれた年輪界の膜孔については，その存在位置が特殊であり，仮道管上の分布も Photo 7 に示すように，ほぼ均一であるので，本節および 3-3., 3-4. では省いてある。

仮道管上の各相対位置における膜孔数を示した Fig. 2, 3 にも示されるように，膜孔は，年輪内のいずれの材部の仮道管においても，仮道管のほとんどすべての

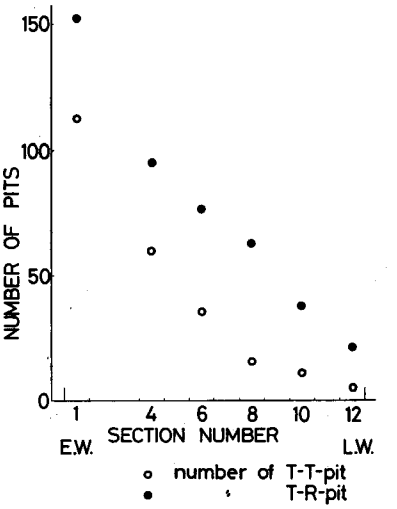

Fig. 1. The variation of the average values for the number of T-T- and T-R-pits per tracheid within an annual ring at breast height above the ground.

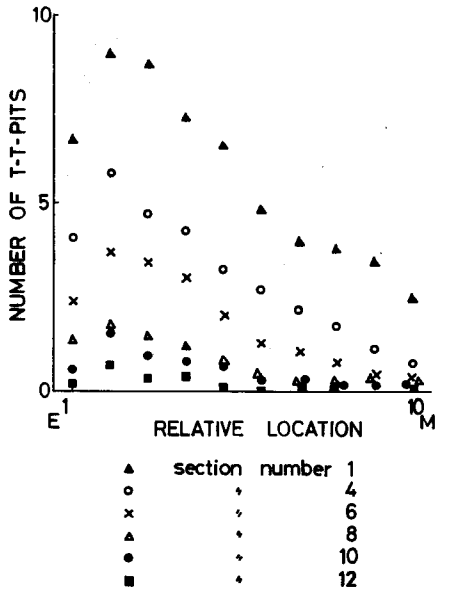

Fig. 2. The average distribution of T-T-pits on an individual tracheid. (The figure shows the average values for the number of T-T-pits existed at location 1/20 divided into on an individual tracheid. E: End of tracheid, M: Middle part of tracheid)

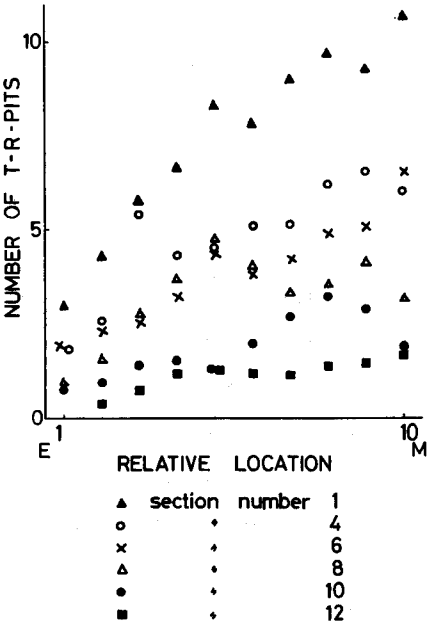

Fig. 3. The average distribution of T-R-pits on an individual tracheid. (The figure shows the average values for the number of T-R-pits existed at location 1/20 divided into on an individual tracheid. E: End of tracheid, M: Middle part of tracheid)

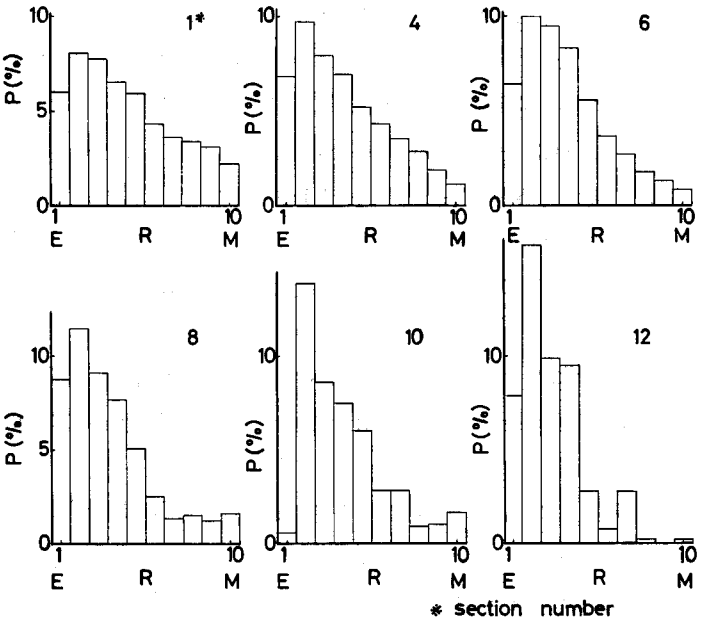

Fig. 4. The average distribution of T-T-pits on an individual tracheid. (The figures show the average percentage of the number of T-T-pits existed at location 1/20 divided into on an individual tracheid. R: Relative location, P: Percentage, E: End of tracheid, M: Middle part of tracheid)

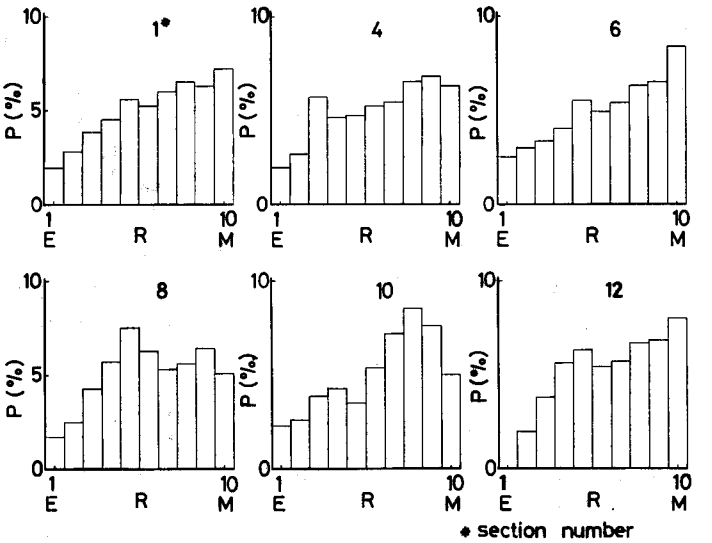

Fig. 5. The average distribution of T-R-pits on an individual tracheid. (The figures show the average percentage of the number of T-R-pits existed at location 1/20 divided into on an individual tracheid. R: Relative location, P: Percentage, E: End of tracheid, M: Middle part of tracheid)

相対位置に存在する。しかし，各材部において，Fig. 1 に示したように，一仮道管あたりの膜孔の絶対数がそれぞれ異なるので，仮道管の同一相対位置における膜孔数は各材部とも異っている。たとえば，T-T 膜孔数は先端に近い相対位置-2 では，典型的春材部(切片番号 1) の仮道管では 9 個であるのに，夏材部 (切片番号 12) の仮道管では 0.7 個である。T-R 膜孔についても，同様に，この位置で典型的春材部仮道管では 4.4 個であるが，夏材部仮道管では 0.4 個となる。一般に，仮道管の各相対位置において，典型的春材部仮道管が他の材部の仮道管より多くの膜孔を持ち，ほとんどの場合，夏材部に近い仮道管ほど膜孔数が少なく，夏材部仮道管でその値が最少となっている。

仮道管上の各相対位置における膜孔の数を出現率で示すと Fig. 4, 5 がえられる。また，Fig. 6, 7 は各相対位置の膜孔の出現率を，仮道管先端から中央部に向って順次加えて得られた値をプロットしたものである。

Fig .4, 6 は T-T 膜孔についての結果であるが，各材部とも T-T 膜孔は仮道管の先端附近に集中して存在し，仮道管中央部で少なくなる傾向を持っている。典型的春材部仮道管では仮道管の両先端から全長の 1/6 の距離までのところに一仮道管の T-T 膜孔総数の 1/4 がそれぞ

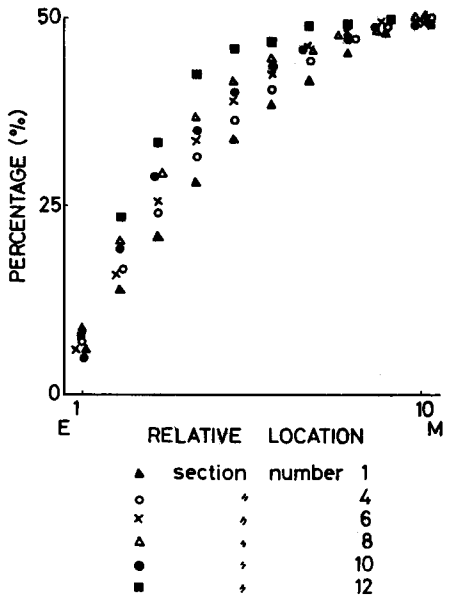

Fig. 6. The average distribution of T-T-pits on an individual tracheid. (The figure shows the accumulated values from an end to a middle part of a tracheid in order for the average percentage of the number of T-T-pits existed at location 1/20 divided into on an individual tracheid. E: End of tracheid, M: Middle part of tracheid)

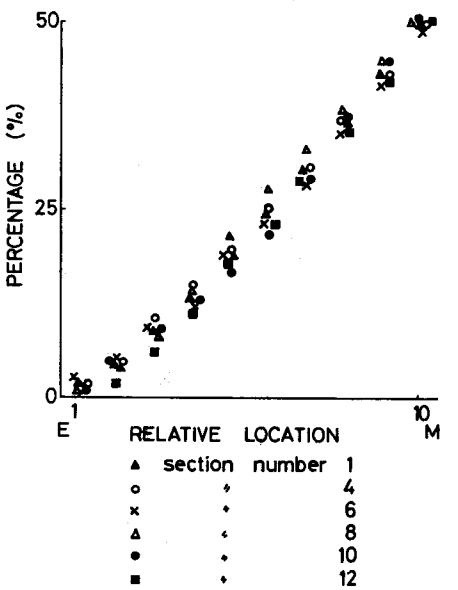

Fig. 7. The average distribution of T-R-pits on an individual tracheid. (The figure shows the accumulated values from an end to a middle part of a tracheid in order for the average percentage of the number of T-R-pits existed at location 1/20 divided into on an individual tracheid. E: End of tracheid M: Middle part of tracheid)

れ存在し，残りの 1/2 の膜孔は，この部分の内側から仮道管中央部にかけて分布しており，仮道管中央部に近ずくにつれその出現率は徐々に低下する。春材部から夏材部に近ずくにつれ，T-T 膜孔が仮道管先端部に集中してくる傾向がしだいに強まり，夏材部仮道管では，仮道管の両先端から全長の 1/10 の距離までの部分で，すでに，総数の 1/4 がそれぞれ存在し，両先端からそれぞれ 1/6 の距離までの部分に，総数の 2/5 がそれぞれ存在し，仮道管中央部での膜孔の出現率は 0.4% と非常に低い。しかしながら，Fig. 2 に示されるように，この材部の膜孔数は他の材部とくらべ少ないので，仮道管の先端附近と中央部とのこのような出現率の差は，実際の T-T 膜孔の数の差ではわずかである。

次に T-R 膜孔の出現率についてみると，20 等分された仮道管の一端から中央部への T-T 膜孔の出現率が Fig. 4 に示されるように比較的漸進的であるのに対し，Fig. 5 で T-R 膜孔の出現率が隣接あるいは接近する分割域相互間で凹凸を持っているのは，仮道管上での T-R 膜孔の存在状態の反映であると思われる。すなわち，個々の T-T 膜孔は仮道管上で比較的自由にその位置を決めるのに対し，T-R 膜孔は仮道管上の限られた場所 (分野) にのみ存在するためである。

仮道管と放射組織が交差して出来る分野群は，最も多い場合でも，一仮道管上では数箇所であり，T-R 膜孔はこの分野群内で T-T 膜孔と比較し，非常に密に配列している。そのため，著者が採用したように，仮道管をその長さにとらわれず機械的に 20 等分して各分割域における膜孔の出現率を求める方法では，ある分割域にたまたま一分野群がプラスされただけでも，その影響が平均的な T-R 膜孔分布に顕著に反映する。

しかし，このように隣接，あるいは接近する相対位置で出現率の差異があっても，Fig. 7 に示されるように，仮道管上の T-R 膜孔の出現率は，年輪内の各材部の仮道管とも，ほぼ類似した傾向を示しながら仮道管の先端から他端へと変化してゆく。すなわち，T-R 膜孔は仮道管の先端部に少なく，中央部に多く現われる。一仮道管の T-R 膜孔総数の 1/4 が仮道管のそれぞれの先端から全長の約 1/3 の長さの部分にわたっており，残りの 1/2 の膜孔は中央部の 1/3 の長さの範囲に存在している。

さて，上述の結果のうちで春材仮道管における平均的な膜孔分布は，著者がトドマツの春材部仮道管で調査した結果とよく一致していた[8]。

3-3. 仮道管に占める膜孔域の割合

3-2. では膜孔の数に着目し，仮道管長を無視して，仮道管上の相対位置の違いによる平均的な膜孔数の変化を検討した。そこで次に，仮道管の膜孔分布のより実際的な姿をつかむために，カラマツ仮道管の形態的な特徴，膜孔の配列などを考慮して，膜孔の仮道管上でのあらわれかたを検討する。

3-1. でふれたように，膜孔は年輪内で，夏材部の年輪界附近の数細胞列を除くほとんどの部分で仮道管の両半径壁に存在する。仮道管の先端部で半径壁といえない断面に存在している

膜孔については，仮道管の半径面が接線面方向にねじれたために膜孔の位置が変わったものとみなすことにする。

夏材部仮道管の接線壁にあらわれるT-T膜孔については，その数がたいへん少ないせいか解繁して調査した仮道管には見い出せなかった。しかし，この材部でも，仮道管先端附近では，T-T膜孔がその半径壁に存在していた。そこで，年輪内の各材部において，仮道管の膜孔は基本的にそのいずれかの半径壁に存在するものとみなして検討を進めて行くことにする。

さて，仮道管壁はT-T膜孔の存在するところ，T-R膜孔の存在するところ，および両者の存在しないところとに大別される。

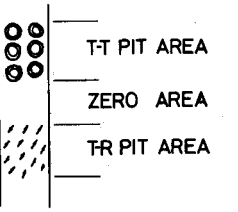

Fig. 8. Three areas existing on a radial wall of a tracheid.

仮道管は，いずれの材部のものも，その幅は先端部で他とくらべて小となる以外はおおむね均一であり，また，先端部が軸方向に占める長さの割合は仮道管の全長とくらべ相対的に小であるから，仮道管の幅は，その一端から他端まで一定であるとみなすことにする。さらに，同一の仮道管では，個々の膜孔の大きさもほぼ等しいので軸方向に配列している個数の差が上述した三者の存在部分の差とみなせる。すなわち，Fig. 8に示すように，仮道管の軸方向でこの方向に配列しているT-T, T-R膜孔の一端から他端までの長さがそれぞれの存在域の長さとみなせる。そこで，これらの部分を便宜上，ここでは，それぞれT-T膜孔領域，T-R膜孔領域，空白領域と呼ぶことにする。そして，各領域は仮道管の両半径壁上で，Fig. 9に示すように，相互に組合わされて配列している。

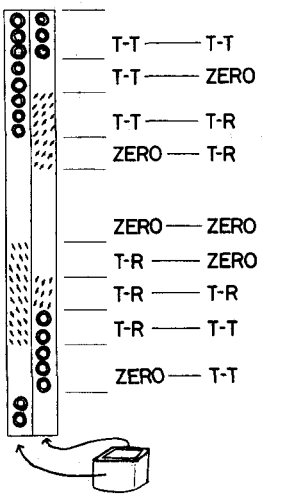

Fig. 9. The kinds of combinations of each area existing between one radial and other opposite wall of a tracheid.

そこで，これら各組合わせの軸方向の長さをそれぞれ合計し，その値を仮道管長で除して，各組合わせが仮道管の半径壁に占める割合を求めた。なお，これらのとりまとめの際に，年輪内における膜孔，および仮道管の半径壁の寸法の変化などは無視している。これらの値から，T-T膜孔領域，T-R膜孔領域，空白領域が仮道管のいずれか一方の半径壁に占める割合を各材部ごとに計算し，その頻度分布を求め，Fig. 10～12に示した。

Fig. 10に示されるように，春材部仮道管では仮道管に占めるT-T膜孔領域の割合の高いものが多い。一方，夏材部仮道管ではその割合は低く，T-T膜孔領域を持たない仮道管も30%程存在する。このことは，膜孔数の大小のみを比較したFig. 1, 2の結果とよく対応している。

T-R膜孔領域については，Fig. 11に示すように，年輪の各材部ともほぼ同じ頻度分布を示している。それは，T-R膜孔領域が年輪内でほとんど変化のみられない放射組織の高さ（実長）の仮道管に占める割合とほぼ等しい意味を持っているからである。Fig. 11では，年輪内の

各材部とも，T-R 膜孔領域が 5～20% を占める仮道管の多いことが示されている。

空白領域は春材部仮道管ではその割合は小であるが，夏材部仮道管では，仮道管壁の 70% 以上にわたって T-T 膜孔も T-R 膜孔も持たない仮道管がほとんどであることが Fig. 12 に示されている。

次に，Fig. 10, 11 に示されたような割合で仮道管のいずれか一方の半径壁に存在する T-T, T-R 膜孔領域が，もう一方の半径壁のどの領域と組合わされている場合が多いかを検討する。

両半径壁相互の組み合わせは，いずれか一方の半径壁を基準にして，Fig. 9 に示されるように，9 通りの種類が考えられるが，これらを 6 種類，すなわち，T-T 膜孔領域どうし，T-R 膜孔領域どうし，空白領域どうし，T-T 膜孔領域と T-R 膜孔領域，T-T 膜孔領域と空白領域，T-R 膜孔領域と空白領域という組合わせにまとめ各材部の仮道管それぞれにつき，これら各組合わせの仮道管上に占める割合を求め，同一材部の仮道管より得られた値の頻度分布を求め，Fig. 13～18 に示した。

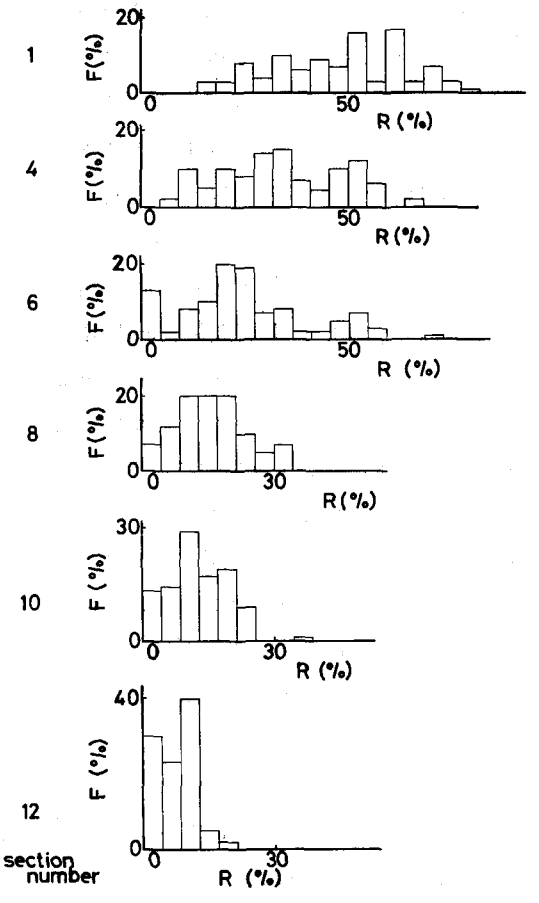

Fig. 10. The frequency of the rates of the T-T-pit area existing on the either radial wall of a tracheid. (F: Frequency, R: Rate of T-T-pit area)

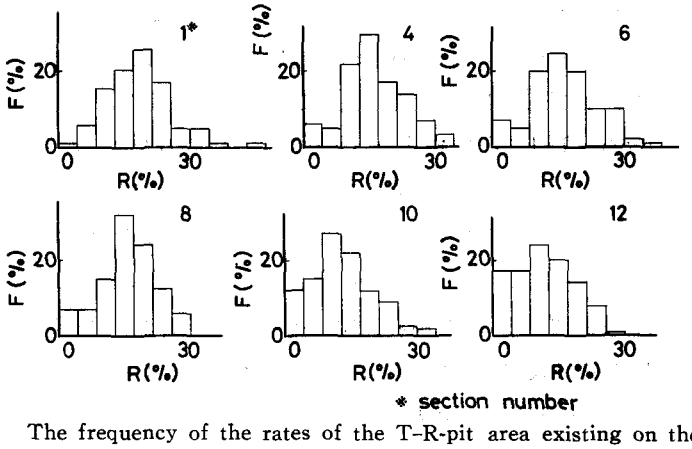

Fig. 11. The frequency of the rates of the T-R-pit area existing on the either radial wall of a tracheid. (F: Frequency, R: Rate of T-R-pit area)

Fig. 13 に示されるように，仮道管の両半径壁が T-T 膜孔である組合わせは，仮道管に占める割合の高いものが春材部仮道管に多く現われる。一方，夏材部仮道管では，その 90% 以上がこの組合わせを持たないことがわかった。また，仮道管のいずれか一方の半径壁での T-T 膜孔領域の割合を示した Fig. 10, T-T 膜孔領域と T-R 膜孔領域，空白領域の組合わせを示す Fig. 14, 16 と関連させて考えると，年輪内の各材部の仮道管について全体的に言えることであるが，特に春材部仮道管では，T-T 膜孔領域が両半径壁の同一位置に存在する割合は相対的に小である。このことに対応して実際の仮道管での，それぞれの半径壁に存在する T-T 膜孔数に差異が認められる。

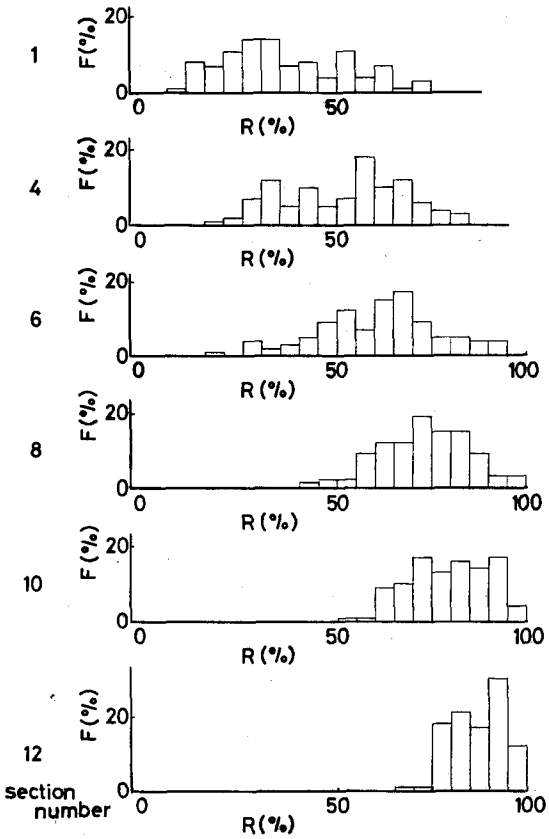

Fig. 12. The frequency of the rates of the zero area existing on the either radial wall of a tracheid. (F: Frequency, R: Rate of zero area)

Fig. 14, 16 に示されるように，春材仮道管に一定程度存在する T-T 膜孔領域と T-R 膜孔領域の組合わせ，および T-T 膜孔領域と空白領域の組合わせが夏材仮道管で少なくなるのは，T-T 膜孔数が春材部から夏材部に向って大幅に減少している結果である。

Fig. 15 に示されるように，T-R 膜孔領域と T-R 膜孔領域という組合わせが，仮道管上に現われる割合は，いずれの材部でもたいへん少ない。また，Fig. 17 に示すように，T-R 膜孔領域と空白領域の組合わせは，いずれの材部の仮道管でも 10% 前後を占める場合が一番多く，これらのことは，材中での放射組織の分布と関連し興味ある結果である。

仮道管の両半径壁に T-T, T-R 膜孔のいずれもがない場合を示したのが Fig. 18 である。春材部から夏材部に向かうにつれて，仮道管の両半径壁が同時に空白領域を持つ割合は増加する。この傾向は，いずれか一方の半径壁に空白領域が現われる割合を示した Fig. 12 と類似している。この両図で，各材部について，Mode および Median がいずれも Fig. 12 の方が大きいのは，Fig. 12 に含まれている T-T 膜孔領域と空白領域，および T-R 膜孔領域と空白領域という二つの組合わせが，Fig. 18 においては除かれているからである。なお，Fig. 12, 18 に示される各材部の仮道管における空白領域のあらわれかたの変化は，T-T 膜孔数の変化に対応する。

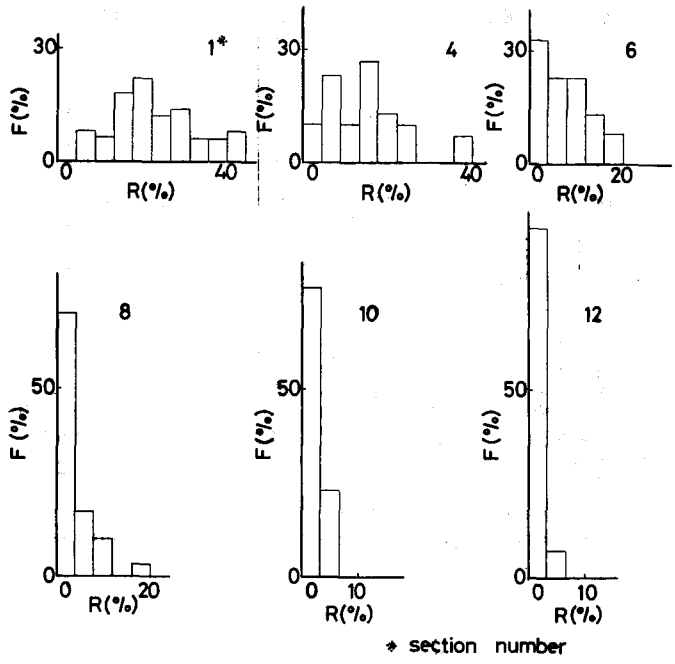

Fig. 13. The frequency of the rates of the combination of T-T- and T-T-pit area on a tracheid. (F: Frequency, R: Rate of combination)

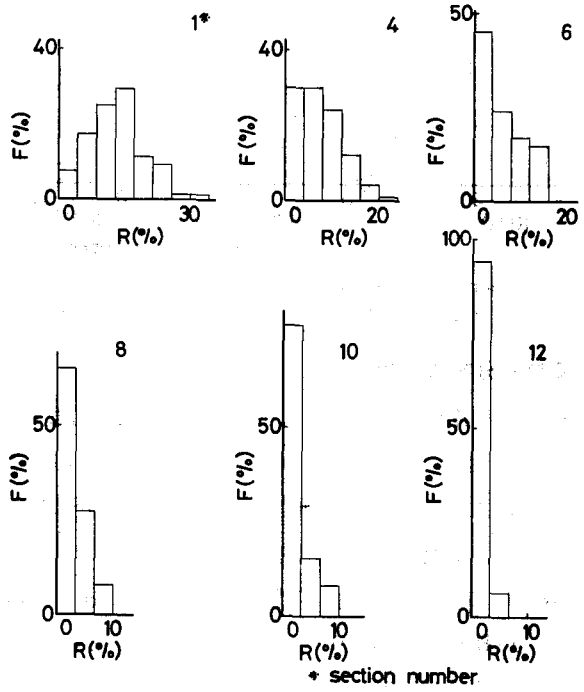

Fig. 14. The frequency of the rates of the combination of T-T- and T-R-pit area on a tracheid. (F: Frequency, R: Rate of combination)

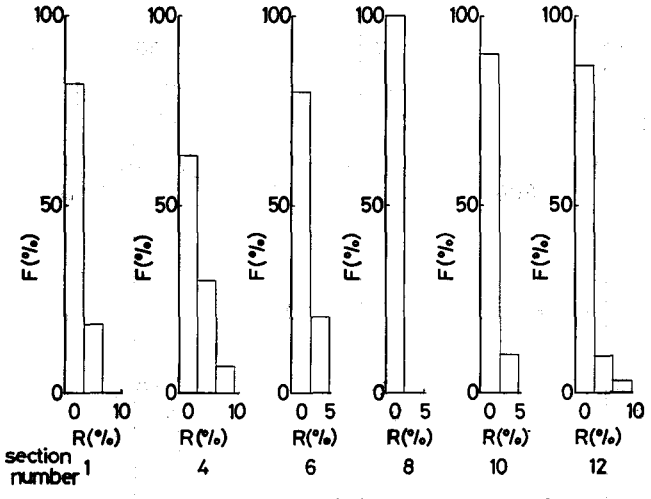

Fig. 15. The frequency of the rates of the combination of T-R- and T-R-pit area on a tracheid. (F: Frequency, R: Rate of combination)

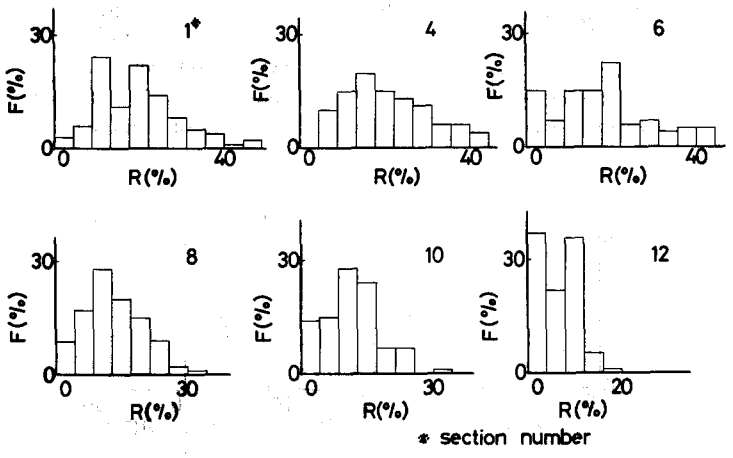

Fig. 16. The frequency of the rates of the combination of T-T-pit and zero area on a tracheid. (F: Frequency, R: Rate of combination)

3-4. 仮道管における膜孔分布の実態

さて，これまで，年輪内の各材部から得られた50本ずつの仮道管につき，仮道管上での相対位置の違いによる膜孔数の違い，T-T，T-R 膜孔領域が仮道管に占める割合等を数量的に比較，検討してきた。そこで，次に，個々の仮道管における膜孔の分布の実態について述べる。

これまでの検討によれば，各材部の平均的な仮道管の膜孔分布については，膜孔数が春材から夏材に向って順次減少してはいるが，仮道管上の分布には共通した特徴点 (T-T 膜孔が仮道管の両先端附近に多く，T-R 膜孔は逆に中央部に多く存在しているという点) が認められた。この点をもとにして，3-1. で述べた，膜孔のあらわれ方，3-3. で述べた，仮道管の相対する半径壁どうしの膜孔の組み合わせの年輪内の各材部における変化傾向をも考慮し，膜孔の存在する

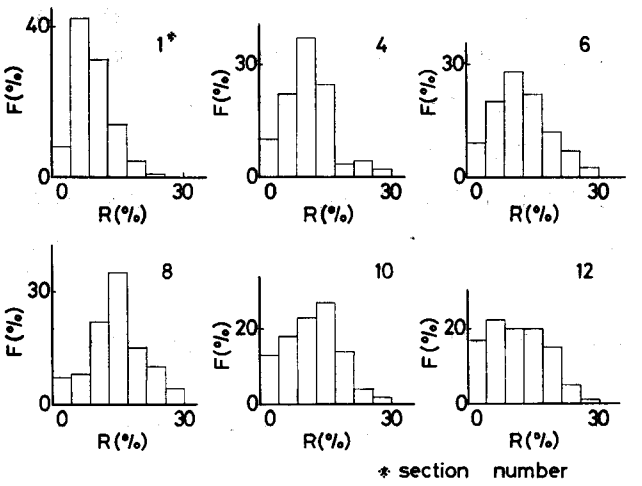

Fig. 17. The frequency of the rates of the combination of T-R-pit and zero area on a tracheid. (F: Frequency, R: Rate of combination)

位置の違いにより，各材部の仮道管をいくつかのタイプに分類してみた。

比較の意味も含め，Fig. 19, 20 に膜孔の分布が非常に相異している春材部 (切片番号 1) の仮道管と夏材部 (切片番号 12) の仮道管について，仮道管の両半径壁に存在する膜孔の位置を模式的に図示した。両図において示されている各タイプの膜孔分布は，それぞれのタイプに属する仮道管のうちの一本の仮道管における実際の膜孔分布を示している。

春材部の個々の仮道管における膜孔分布は変化に富んでいるが，しかし，それぞれいくつかの特徴点をも有しており，平均的な膜孔分布を持つ仮道管を一つの基準として，この材部の仮道管は膜孔の存在する位置の違いにより，Fig. 19 に示すように，6 つのタイプに分けられる。

A は 3-2. でのべた平均的な膜孔分布をとる仮道管に近いタイプで，50 本の仮道管のうちの約 3 割を占めていた。

B も A に近いタイプであるが，B では仮道管の一方の先端の片側の半径壁に T-T 膜孔が多数あり，他方の先端ではこの関係が逆になっている例で，約一割の仮道管がこれにあたる。

3-3. でふれたように，一般に，T-T, T-R 膜孔とも，ほとんどの場合，個々の仮道管の両半径壁でその数はそれぞれ異っているが，C に示されるように，T-T 膜孔が片側の半径壁で極端に多い場合も数パーセント認められた。

D は T-T, T-R 膜孔が比較的分散しているタイプで，約 2 割の仮道管でこの傾向が認められた。

E はいずれかの先端に T-R 膜孔があるタイプで，約 2 割の仮道管で認められた。

F は仮道管長の比較的長い数パーセントの仮道管に認められた傾向で，相対的に T-T 膜孔数が少ない仮道管のタイプである。

さて，A～F の各タイプとも，個々的なバラッキはあっても，全般的な傾向としては，3-2.

で示した平均的な膜孔分布を示す仮道管のもつ性質が認められ，特に，AとBとで全体の約4割を占めることからも，3-2. で得られた春材仮道管上の各相対位置における膜孔分布は，単なる平均的な膜孔の分布を示すだけでなく，この材部の個々の仮道管における膜孔の分布の実態をよく反映しているものと考えられる。

一方，夏材部仮道管では，T-T 膜孔数の減少にともない，個々の仮道管での分布の多様性はあっても，それらを分類することは比較的容易である。Fig. 20 に夏材仮道管における膜孔分布の特徴的なタイプを示す。

Aは平均的な膜孔分布を示す仮道管に近いタイプで，50本の仮道管のうち約6割がこの傾向を示した。

BはAの傾向も持っているが，一方，先端部に T-R 膜孔を持つ仮道管で，約2割にこの傾

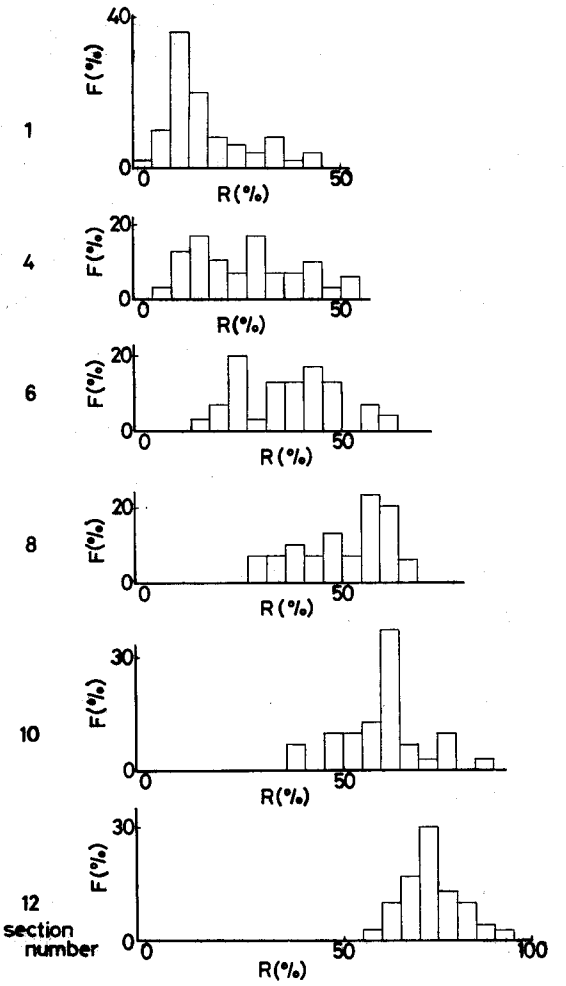

Fig. 18. The frequency of the rates of the combination of zero and zero area on a tracheid. (F: Frequency, R: Rate of combination)

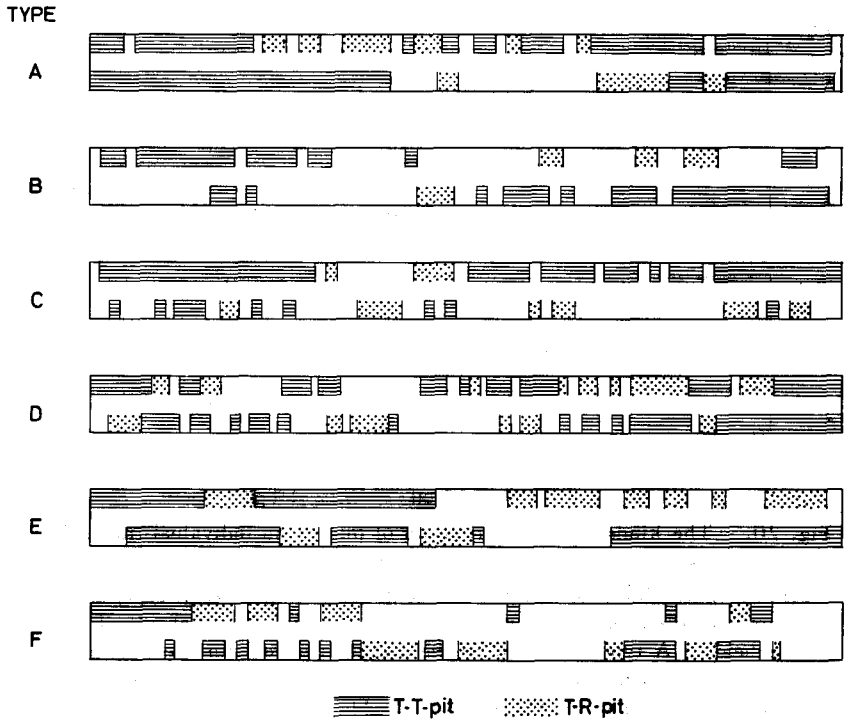

Fig. 19. The kinds of the distribution of pits on an individual tracheid in the springwood (Section number 1).

(Each figure shows one of the tracheids belonging to each type, and shows the distribution of pits on both radial walls of a tracheid. The tracheid of A type is similar to the average tracheid for the distribution of the pits. The tracheid of B type is similar to A, but many T-T-pits exist on the either wall at the both ends of it. These walls differ from each other at both ends. The tracheid of C type has many T-T-pits on one of two radial walls of it. The tracheid of D type has the dispersed pits relatively. The tracheid of E type has the T-R-pits on one end of it. The tracheid of F type has fewer T-T-pits as compared with that of the average tracheid.)

向が認められた。

C, D は年輪内の夏材部仮道管についてのみ認められた傾向で，それぞれ，T-T 膜孔が存在せず T-R 膜孔のみをもつ仮道管 (C)，T-R 膜孔が存在せず，T-T 膜孔のみをもつ仮道管 (D) のタイプである。夏材で測定した 50 本のうち，C が 14%，D が 4% の割合を占めていた。

このように，仮道管上に，T-T 膜孔，または T-R 膜孔を全く持たない仮道管が認められたのは夏材部についてのみであったが，Table 1 に示すように，いずれか一方の半径壁に T-T 膜孔，または T-R 膜孔を持たない仮道管は，年輪内では春材部からすでにあらわれ，夏材部に近ずくにつれ，その数を増し，夏材部では，その割合はそれぞれ全体の約 1/3 に達した。

さて，夏材部では，C, D のようなタイプの仮道管も存在する訳だが，一方，A が全体の約 6 割に達することから，春材部と同様に，3-2. で示した平均的な膜孔分布は，この材部の膜孔

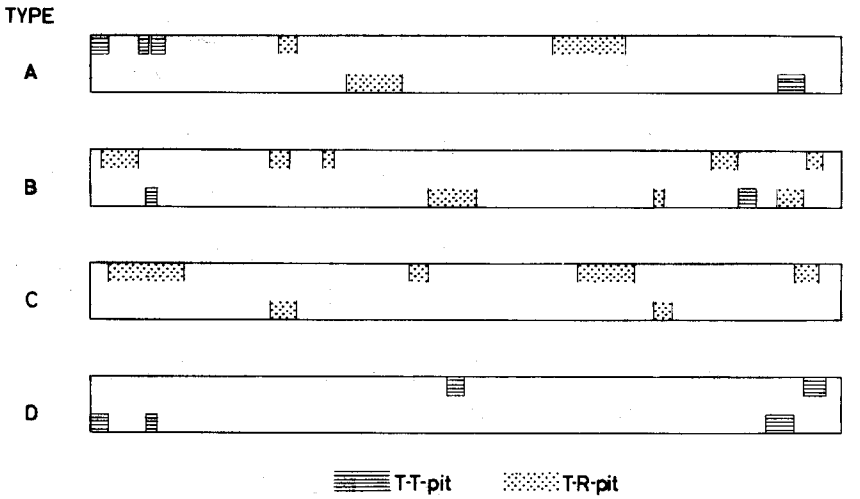

Fig. 20. The kinds of the distribution of pits on an individual tracheid in the summerwood (Section number 12).

(Each figure shows one of the tracheids belonging to each type, and shows the distribution of pits on both radial walls of a tracheid. The tracheid of A type is similar to the average tracheid for the distribution of the pits. The tracheid of B type is similar to A, but the T-R-pits also exist on the end of it. The tracheid of C type has only T-R-pits, and D type only T-T-pits.)

Table 1. The rate of the number of tracheids in which T-T- or T-R-pits don't exist.

Section number	T-T-pit		T-R-pit	
	*1 (%)	*2 (%)	**1 (%)	**2 (%)
1	0	0	0	2
4	0	0	0	6
6	0	10	0	10
8	0	16	0	10
10	0	20	0	24
12	14	34	4	30

*1: The rate of the number of tracheids in which T-T-pit don't exist on both radial walls.

**1: The rate of the number of tracheids in which T-R-pit don't exist on both radial walls.

*2: The rate of the number of tracheids in which T-T-pit don't exist on only one radial wall.

**2: The rate of the number of tracheids in which T-R-pit don't exist on only one radial wall.

分布の実態をよく示しているものと考えられる。

また，年輪内の他の材部でも，Fig. 19 の A, B, Fig. 20 の A に属すると考えられる仮道管が総数のおよそ半数を占めており，壁孔のこのような分布傾向を持つ仮道管が年輪内のいずれ

の材部にも最も多く存在していることが示され，このことが3-2.で検討した平均的な膜孔分布に反映されていると考えられる。

4. 結　　論

カラマツの樹幹において，年輪内での T-T 膜孔の存在する位置は従来光学顕微鏡を用いての調査により結論ずけられているものより複雑であり，単純に仮道管の半径壁，あるいは接線壁にあるとすることは出来ない。

もちろん，大部分の T-T 膜孔は仮道管の先端部以外でその半径壁上に存在しているが，一方，先端部では半径壁（材のまさ目面）以外の壁面にも存在する。すなわち，仮道管の先端が紡錘型を呈し，仮道管の割り込み生長などにより，軸方向で上下の仮道管の接する面が材のまさ目面と平行な平面だけとは限らないからである。このことは，年輪内のいずれの材部でも見い出されるが，特に春材部仮道管では，他の材部と比較し，仮道管の先端部に T-T 膜孔が多いために，SEM を用いた観察で容易に観察される。

また，年輪界に近い数細胞の夏材部仮道管の接線壁にあらわれる膜孔は，その存在位置が仮道管の先端以外の場所に限られる傾向を持ち，数も少ない。

年輪界の春材，夏材両仮道管の共通接線壁のみに存在する膜孔は，寸法においては夏材部のそれとほぼ同じであるが，仮道管一本あたり200～400個存在し，その分布密度がたいへん高く，またその分布状態もほぼ均一である。著者は，トドマツにおいても，この膜孔の存在を確認しており，これらは樹木生理学的にたいへん興味ある存在である。

また，同一仮道管の両半径壁間で，T-T 膜孔の分布密度に顕著な差が認められることが多く，材のまさ目面で観察すると，春材部から夏材部にわたり，T-T 膜孔が非常に多く存在する断面と，その数が相対的に少ない断面とがあることが認められる。

著者は個々の仮道管における膜孔の分布を定量的に把握するために，2，3の試みを行ったが，その過程で得られた平均的な膜孔分布を示す仮道管を，仮道管上の膜孔分布の一つのモデルとすると，このモデルと類似した膜孔の分布を示す仮道管が年輪内の各材部で最も多く存在することが確かめられた。仮道管上での膜孔のあらわれかたがこのモデルと異なる仮道管についても，モデルの持つ性質を基準として何種類かに分類された。

かくして，著者が採用した定量化法，すなわち，平均的な膜孔分布を求める方法は，実際の材組織における膜孔の観察と併用して用いられるなら，仮道管の膜孔分布を定量的に検討するための有効な手段となりうるであろう。

5. 要　　約

カラマツ材において，年輪の各材部に位置する仮道管の膜孔の数，その存在する位置，およびその仮道管上でのあらわれかたについて明らかにした。

樹齢35年の成長良好なカラマツ樹幹の胸高部から2個の材片をとった。一方の材片からは，材のまさ目面，板目面などをSEMで観察するための試料をとり，常法どうり処理し，観察がなされた。他方の材片からは，組織を解架し，個々の仮道管上での膜孔の数と位置を調査するために，一年輪をえらび，その春材から夏材にわたって厚さ250μの接線面切片を連続してとった。各切片は，著者が従来から用いてきた方法で処理し，観察，測定がなされた。

得られた結果をまとめると以下のようになる。

1. 一年輪内で，一般に知られているように，T-R膜孔は常に仮道管の半径壁に，T-T膜孔もそのほとんどが仮道管の半径壁に存在している。

しかし，T-T膜孔は仮道管の先端部で，仮道管どうし，あるいは放射組織の細胞との接し方により，半径壁（材のまさ目面）以外の壁面に存在する場合も多い。

また，年輪界から数えて数細胞までの夏材仮道管では，その先端附近以外の接線壁にごく少数のT-T膜孔が存在する傾向が認められた。一方，この材部の仮道管先端部では，半径壁あるいはそれに近い壁上に少数のT-T膜孔が存在している。

年輪界の春材，夏材両仮道管の共通接線壁には，一仮道管あたり200～400個のT-T膜孔が存在し，ほぼ均一な分布をとっている。

2. 仮道管における平均的な膜孔分布については，年輪界を除く各材部の仮道管ともT-T膜孔は仮道管の先端附近で，T-R膜孔は中央部でそれぞれ分布密度が高い。

なお，T-T膜孔は春材部から夏材部に向かうに従がい，仮道管の先端部附近での分布密度が次第に高くなる。しかし，春材部と夏材部とでは，仮道管一本あたりの膜孔数に大きな差があり，実際の膜孔数では，夏材仮道管の先端附近の膜孔数は春材のそれの1/10以下である。

3. 個々の仮道管で，膜孔はおのおのの半径壁で，仮道管あるいは放射組織との接し方を反映し，それぞれ異った分布の状態を示す。

4. 膜孔のあらわれかたによって仮道管を分類すると，春材仮道管では6通り，夏材仮道管では4通りの膜孔分布のタイプが認められた。これらのうちで，3-2.で平均的な膜孔分布として示された仮道管と類似した膜孔のあらわれかたをするタイプの仮道管が各材部において最も多く存在した。

文　献

1) ESAU, K.: Plant Anatomy, John Wiley and Sons, INC., New York and London (1953).
2) 石田茂雄，滝沢忠昭：カラマツ仮道管における膜孔の分布 (I). 日本木材学会北海道支部講演集，第2号，18-20 (1970).
3) 貴島恒夫：木材の構造，木材工学，梶田茂（編），養賢堂 (1967).
4) PANSHIN, A. J. and C. D. ZEEUW: Text Book of Wood Technology, Vol, 1. Third Edition, McGraw-Hill Book Co., N. Y. (1970).
5) 島地　謙：木材解剖図説，地球出版 (1964).
6) 滝沢忠昭，石田茂雄：カラマツ仮道管における膜孔の分布 (II). 日本木材学会北海道支部講演集，第3号，35-38 (1971).

7) 滝沢忠昭, 石田茂雄: カラマツ仮道管における膜孔の分布 (III). 日本木材学会北海道支部講演集, 第4号, 39-42 (1972).
8) ————, ————: トドマツ仮道管における膜孔の数, 分布, 並びにそれらの樹幹内変動. 北海道大学農学部演習林研究報告, 第29巻, 189-205 (1972).
9) ————: 針葉樹仮道管における膜孔の分布に関する研究. 昭和46年度修士論文, 北海道大学農学研究科 (1971).
10) 山林 暹: 木材組織学. 森北出版社 (1964).

Summary

A trial was made by the author to recognize the distribution of pits of a tracheid within an annual ring of softwood quantitatively.

The material used for the study was taken from a trunk of Kara-Matsu, *Larix leptolepis* GORD., obtained from the Tomakomai College Experiment Forest, Hokkaido University. The sample tree was 35 years old and well mature.

Two radial strips were taken from the southern side of the trunk at breast height above the ground.

From one of the strips, the specimens in which the longitudinal radial and tangential walls were cut on a sliding microtome were obtained to examine mainly by the scaning electron microscopy. From the other strip, a tangential section of 250 μ in thickness was cut successively from spring- to summerwood at one annual ring of the outer heartwood. After the sections were macerated, the tracheids were mounted on slides for microscopy.

Location of pits on an individual tracheid and number of pits per tracheid were measured on 50 tracheids picked up at random per each section subjected to maceration.

Average values for the number of T-T- and T-R-pits per tracheid were computed for every the 50 tracheids tested. Also the distribution of T-T- and T-R-pits on an individual tracheid was observed and calculated; then, the average distribution of pits was obtained from the 50 tracheids tested.

In this paper, the bordered pit between axial tracheids is called T-T-pit, and that between the axial tracheid and ray (ray parenchyma and ray tracheid) is called T-R-pit.

The results obtained are as follows:

1. Most of pits exist on the radial wall of tracheids, as shown in Photos 1, 3, 4 and 5. On the tapered end of the tracheid, T-T-pits present not only on the radial but also the other wall, because of the irregular intrusive growth of tracheids, as shown in Photo 2.

In the last few rows of summerwood tracheids, a few tangential T-T-pits tend to present on a portion except the ends of tracheids, as shown in Photo 6.

On the other hand, in the common tangential wall in the extreme border between the two annual rings, 200 to 400 per tracheid smaller T-T-pit pairs present everywhere, as shown in Photos 7 and 8.

2. It is clear that the average values for the number of T-T- and T-R-pits per tracheid are remarkably high in the typical springwood, then decrease rapidly toward the summerwood, as shown in Figure 1. The tendency shown in Figure 1 is found

also in Figures 2 and 3.

The Figures 2 and 3 show the number of T-T- and T-R-pits on an average tracheid, which has the average distribution of pits. Also, the Figures 4 to 7 show the percentage of the number of T-T- and T-R-pits on an average tracheid respectively.

In an average tracheid, T-R-pit was showed to exist more at the middle part than the end everywhere within an annual ring, as shown in Figures 3, 5 and 7. About 1/2 of the total number of T-R-pits on one tracheid existed within the middle 1/3 of length of the tracheid. On the other hand, T-T-pit was showed to exist more at the both ends of the tracheid than the middle part of it, as shown in Figures 2, 4 and 6. This tendency becomes more remarkable toward the summerwood, where, as shown in Figures 1 and 2, the actual number of pits is fewer as compared with the springwood, though.

In the springwood tracheid, about 1/2 of the total number of T-T-pits existed within the middle 2/3 of the length, i. e., the other 1/2 located on the both ends, being divided equally, while in the summerwood tracheid, about 1/2 existed within 4/5 of the length.

The distribution of pits on the average tracheid in the springwood is similar to that for Todo-Matsu, *Abies sachalinensis* MAST..

3. When the longitudinal radial wall of a tracheid is distinguished into T-T-, T-R-pit area (a portion existing T-T- and T-R-pit respectively) and zero area (a portion existing neither T-T- nor T-R-pit), two opposite radial walls of one tracheid are shown by the nine combinations of each area, as illustrated in Figures 8 and 9. In Figures 10 to 12, the frequency of the rates of the each area on one tracheid are shown every 50 tracheid tested. Also, the frequency of the rates of the each combination are shown in Figures 13 to 18.

4. Tracheids are divided into six types in the springwood, and four types in the summerwood according to the differences of the distribution including both kinds of pits, as shown in Figures 19 and 20.

The tracheids illustrated in Figures 19-A, -B and 20-A are similar to the average tracheid for the distribution of the pits, and were found the most in every 50 tracheids tested within an annual ring.

The rate of the number of tracheids in which T-T- or T-R-pits don't exist on one or both sides of the radial walls as illustrated in Figure 20-C and -D increases from spring- to summerwood, as shown in Table 1.

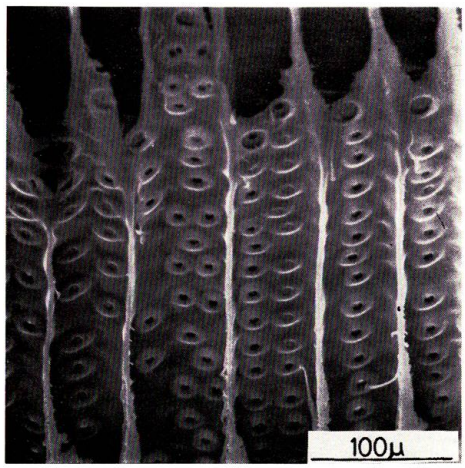

Photo 1.

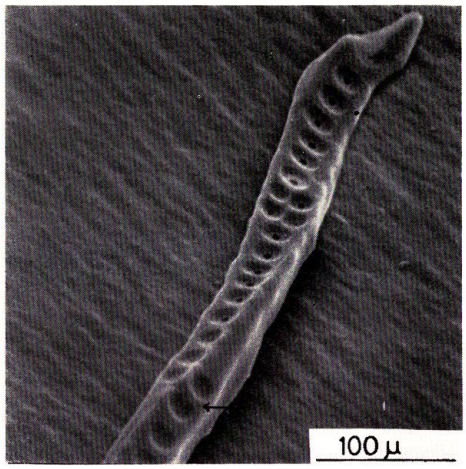

Photo 2.

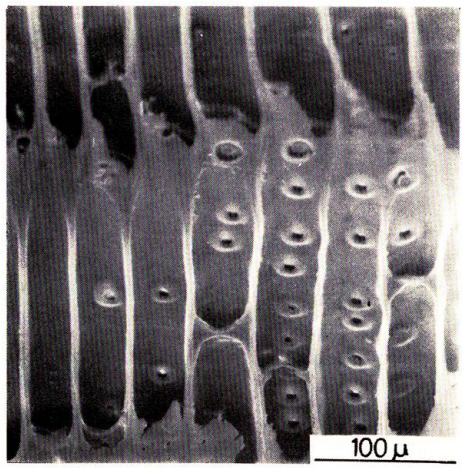

Photo 3.

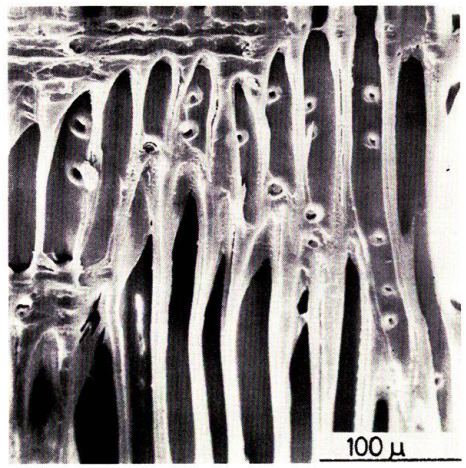

Photo 4.

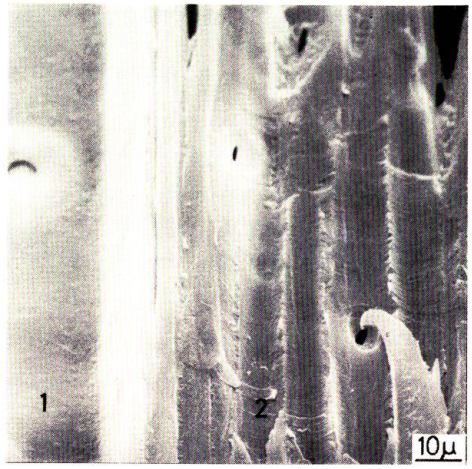

Photo 5.

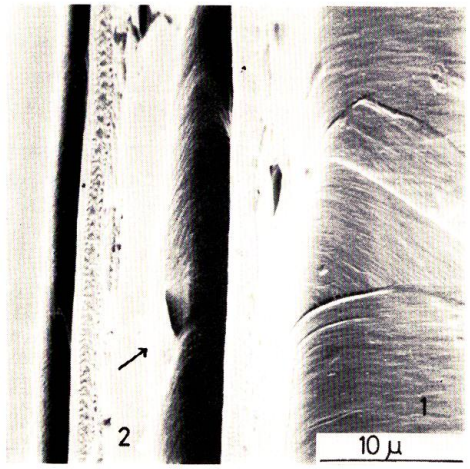

Photo 6.

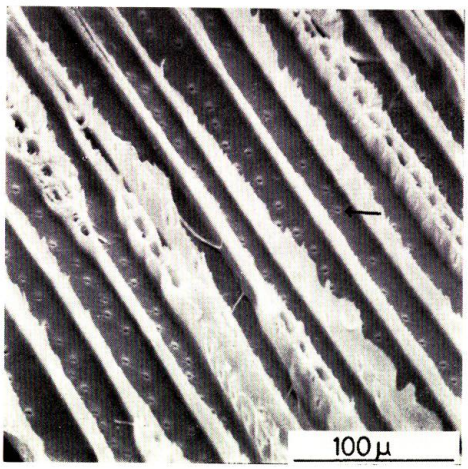

Photo 7.

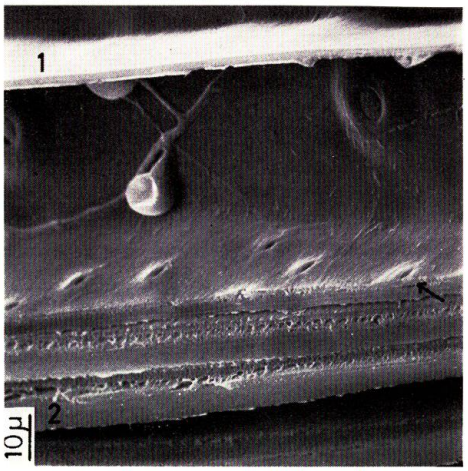

Photo 8.

Explanation of photographs (1–8)

Photo 1. A radial surface in the springwood of material. Many T–T-pits in 1–2 rows exist on the radial wall of the tracheid.

Photo 2. A part of a springwood tracheid obtained by the maceration. On the end of the tracheid, T–T-pits exist not only on the radial (arrow) but also the other wall of it.

Photo 3. A radial surface in the middle part of an annual ring.

Photo 4. A radial surface in the inner summerwood.

Photo 5. A radial surface in the outer summerwood. 1: Springwood tracheid, 2: Summerwood tracheid.

Photo 6. A radial surface in the border between two annual rings. A few tangential T–T-pits (arrow) exist in the last few rows of summerwood tracheids. 1: Springwood tracheid, 2: Summerwood tracheid.

Photo 7. A tangential surface in the inner most springwood. Many T–T-pits (arrow) exist everywhere in the tengential walls of the springwood tracheids being in contact with that of the summerwood.

Photo 8. T–T-pits (arrow) shown in Photo 7 are observed from the side of a radial surface. 1: Springwood tracheid, 2: Summerwood tracheid.