

# ヤマザクラとマカンバ乾燥材の空隙構造

寺嶋 丈雄・吉本 健一・乾 一・中戸 莞二

Pore Structure of Dry Yamazakura (*Prunus jamasakura* OHWI)  
and Makanba (*Betula maximowicziana* REGEL)

Takeo TERASHIMA, Kenichi YOSHIMOTO, Hajime INUI and Kanji NAKATO

## 要 旨

広葉樹散孔材の流動通路の定量的情報を得るため、道管せん孔を異にするヤマザクラとマカンバについて、顕微鏡法を援用して水銀圧入法で永久空隙構造を検討した。

両樹種の永久空隙は水銀圧入曲線 (Figs. 3, 4) からミクロ、サブマクロおよびマクロ空隙に区分できる。半径  $0.05\sim0.08\mu\text{m}$  以下のミクロ空隙の容積が全空隙の 14, 29%にも達することから、この空隙に無孔の壁孔膜を通して圧入される放射組織細胞内こうと細胞壁の微小空隙が帰属するとおもわれる。半径  $3\mu\text{m}$  以下のサブマクロな空隙は、それに対応する圧入曲線部分が木口試験片の厚さで異なることから、壁孔対を通して圧入される木部繊維などの内こうに相当するとおもわれる。

半径  $5\mu\text{m}$  以上のマクロ空隙は全空隙容積の 20~25% を占める道管のほか、試験片木口で開口する木部繊維などの 2.4~3.4% の内こうを含む (Figs. 5, 6)。細孔分布曲線のピークは顕微鏡法に比べて水銀圧入法ではヤマザクラで  $5\sim10\mu\text{m}$ 、マカンバで  $25\sim30\mu\text{m}$  それぞれ小径側にずれる (Figs. 7, 8)。これはそれぞれ単せん孔および階段せん孔による水銀圧入に対するボトルネック効果によるものである。

## は じ め に

空隙構造は木材の物理的、化学的諸性質、とりわけ他物質の木材中での移動および実質との反応などに密接に関係し、乾燥、化学加工、パルプ化などの木材工業の実際にとってもきわめて重要である。木材に対して有効な空隙測定法としては吸着等温線法、顕微鏡法および水銀圧入法がある。

本報は広葉樹材の流動通路の定量的評価を目的として、道管せん孔を異にする散孔材 2 樹種について、乾燥材の空隙構造、特にマクロ空隙の構造を顕微鏡法の一部援用のもとで水銀圧入法によって検討した。すなわち、まず水銀圧入法の 2, 3 の問題点を検討し、広い圧入圧力域にわたる永久空隙の大きさによる区分とこれに対応する構造要素の同定を試み、さらに試作した低圧域測定用水銀ポロシメータと光学顕微鏡によるマクロ空隙の定量的評価を比較検討した。

## 1. 実験方法

### 1・1 供試材と試験片

散孔材で、道管に単せん孔をもつヤマザクラ *Prunus jamasakura* OHWI の心材（平均年輪幅4.0mm，全乾比重0.644），階段せん孔のマカンバ *Betula maximowicziana* REGEL の心材（3.2mm，0.584）および辺材（2.7mm，0.668）を供試した。

木口断面 5 (T) × 10 (R) mm の二方まさ木取り，厚さ (L) 1，2.5，5 および 10 mm にマイターソー仕上げしたブロックを，24 時間熱水で抽出軟化処理した。抽出量はヤマザクラ 6.3%，マカンバ心材 3.0%，辺材 2.3% であった。つぎにブロックの 6 面から厚さ 20  $\mu$ m の切片数片あてをマイクロトームできりとり，サフラニン染色後エタノールで段階的に置換脱水して永久プレパラートとし顕微鏡測定に供した。またマイクロトーム切削後のブロックを 68～72 時間風乾，16 時間室温で減圧乾燥後 100～105℃ で炉乾燥し，シリカゲルデシケータに貯蔵して順次水銀圧入実験に供した。

### 1・2 空隙測定法

a 水銀圧入法 2 種の測定装置を使用した。一つは既報<sup>1)</sup> で用いた島津-Micromeritics Instrument Corporation 製水銀ポロシメータ Model 905-1 であり，圧力 0.035～2800 kg/cm<sup>2</sup>（空隙半径約 200  $\mu$ m～2.6 nm）の圧入測定（A 測定）に用いた。他は低圧域用に試作したもの（Fig. 1）で次の主要な 3 部を含み，0.007～1 kg/cm<sup>2</sup>（1 mm～7  $\mu$ m）の圧入測定（B 測定）に用いた。(1) 試料セル（Fig. 1 の H）：ガラス製で，すり合せで密着する本体とふたからなり，内径と高さがほぼ 3 cm の円筒形であるが，測定誤差をさけるため全てのコーナを曲面としている。本体底部で U 字管の一端に連結し，他端と連結する圧入水銀容積測定用の測容毛管（G）を経て真空系に，また U 字管底部で連結するニードルバルブ（J）を経て水銀だめ（I）につながる。したがってセルに乾燥試験片をセットしたままで排気ができ，そののちバルブを開いて水銀をセルと測容毛管に同時に送り，セルが満たされたときにバルブを閉じることによって，試験片厚さに相当する水銀柱圧力を測容

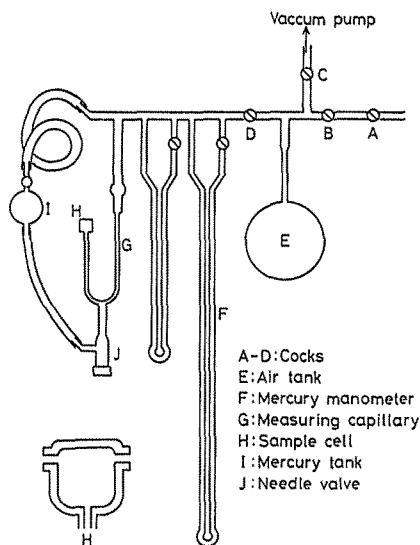


Fig. 1 Schematic diagram of the mercury porosimeter for macropore structures

の初期圧力(約  $0.007\text{kg/cm}^2$ )とすることができる。なお、セルがガラス製であるため、試験片およびトラップされた気泡を実験中に観察することが可能である。(2)測容毛管：内径3mm、高さ120mm、内容積 $820\text{mm}^3$ 程度の精密毛管である。単位高さの水銀容積は $0.00686\text{cm}^3/\text{mm}$ であり、これに0.01mm目盛のカセットメータで読みとった水銀メニスカスの変位量を乗じるとき、A測定に比べてほぼ5倍の精度で圧入水銀容積を得ることができる。(3)負荷圧力の調整および測定部：容量の異なる空気だめ(E)の使用とコック(A~D)の開閉、真空ポンプによる排気によって測容毛管の水銀メニスカスに所定の空気圧を段階的に負荷できる。またこの負荷圧力を水銀閉管マノメータ(F)と目盛1/20mmのカセットメータで求める。

B測定では1回の実験に3個の全乾試験片を、相互の間隔を2個のホッチキス留金で固定して供試する。これは試験片とセルのふた、試験片相互の間にできる隙間による誤差をさけるためである。固定した試験片を再度8時間炉乾、冷却したのち、留金を上にしてセルに入れ5時間以上排気して $0.02\text{mmHg}$ 以下に保つ。つぎにセルと測容毛管に水銀を同時に充てんするとき、セル中の試験片は水銀メニスカスに乗って持ち上げられる。メニスカスがセルのふたに接したときニードルバルブを閉じる。所定圧力に調整した空気を順次測定管に送り、4分間メニスカスに負荷したのち、カセットメータで求めたマノメータおよび測容毛管の高さでそれぞれ圧入の圧力および容積を決定する。この操作を大気圧までくり返す。

b 顕微鏡法 各供試ブロックから得た木口断面プレパラートについて、年輪に $45^\circ$ 方向で階段状に連続して $1\text{mm}^2$ の視野をヤマザクラ6個、マカンバ辺心材各8個あて設定し、各視野に含まれる道管内こうの長短両径をNikon Profile Projector 6Cを用い $\times 100$ 像について測定(C測定)した。なお、 $1\text{mm}^2$ あたり平均道管数はヤマザクラ83.3、マカンバ18.8であった。

また、ヤマザクラの半径断面プレパラートについて単せん孔のせん孔縁幅を、マカンバの半径および接線断面プレパラートについて階段せん孔(スリット)幅およびせん孔板傾斜角をそれぞれ $\times 400$ 顕微鏡下で求めた。

## 2. 結果と考察

### 2・1 水銀圧入法の検討

a 圧縮材面での水銀の接触角 水銀圧入法では円筒空隙を仮定して次の関係から圧入圧力  $P$   $\text{kg/cm}^2$  に対応する空隙半径  $r$   $\mu\text{m}$  を求めることができる。すなわち

$$r = -2\sigma \cos \theta / P \quad \dots\dots(1)$$

ここに  $\sigma$  : 水銀の表面張力,  $\theta$  : 空隙壁面での水銀の接触角。

既往の研究<sup>2)~10)</sup>では、 $\sigma$  をほぼ共通して  $480\text{dyne/cm}$  としているのに対して  $\theta$  には  $130\sim 142^\circ$  を採用している。(1)式による  $r$  は  $\theta$  が  $142^\circ$  のときに比べて  $130^\circ$  ではほぼ18%小さく、この差は無視

Table 1. Contact angle ( $\cos \theta$ ) of mercury on wood surface pressed

| Pressure intensity of<br>prepressing ( $\text{kg/cm}^2$ ) | Hinoki             |                    | Makanba            |                    |
|-----------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                                           | Earlywood          | Latewood           | Earlywood          | Latewood           |
| 0                                                         | $-0.811 \pm 0.017$ | $-0.808 \pm 0.023$ | $-0.817 \pm 0.020$ | $-0.797 \pm 0.025$ |
| 1250                                                      | $-0.764 \pm 0.023$ | $-0.758 \pm 0.029$ | $-0.761 \pm 0.026$ | $-0.745 \pm 0.024$ |
| 2500                                                      | $-0.760 \pm 0.024$ | $-0.735 \pm 0.020$ | $-0.736 \pm 0.020$ | $-0.788 \pm 0.020$ |
| 5000                                                      | $-0.765 \pm 0.017$ | $-0.739 \pm 0.020$ | $-0.740 \pm 0.021$ | $-0.754 \pm 0.023$ |
| 10000                                                     | $-0.756 \pm 0.020$ | $-0.737 \pm 0.020$ | $-0.752 \pm 0.020$ | $-0.744 \pm 0.026$ |

Table 2. Constant,  $-2\sigma \cos \theta$  in Eg. (1)

| $\cos \theta$ | $\sigma$ (dyne/cm) | 475    | 473.5  |
|---------------|--------------------|--------|--------|
| -0.756        |                    | 7.3286 | 7.3054 |
| -0.742        |                    | 7.1929 | 7.1701 |

 $\theta$  : Contact angle of mercury on wood surface $\sigma$  : Surface tension of mercury

できない。そこで、あらかじめエタノール・ベンゼン (1:2) 混液で温抽出したヒノキ *Chamaecyparis obtusa* ENDL. およびマカンバの心材での  $\theta$  を次の方法で検討した。すなわち、鉋削仕上げのブロック板目面に鋼板鏡面をあてて 1250~10000kg/cm<sup>2</sup> で4段階の前圧縮を施し、除圧直後早材および晩材部の繊維直交方向での  $\theta$  をゴニオメータで求めた。木材含水率 1~3%, 20~25℃での結果を  $\cos \theta$  で Table 1 に示す。 $\cos \theta$  は材面の前圧縮によって明らかに増大するが、1250kg/cm<sup>2</sup> 以上の前圧縮では供試樹種、早晚材および圧力による有意差が認められず、平均  $-0.749 \pm 0.007$  ( $\theta$  : 137~139°) である。他方、真空または乾燥空気下での  $\sigma$  は 20° および 25℃ でそれぞれ 475 および 473.5 dyne/cm である<sup>11)</sup>。そこで、これらの値で求めた(1)式の定数、 $-2\sigma \cos \theta$  (Table 2) の平均値 7.25 を(1)式に適用する。

$$r = 7.25/P \text{ (}\mu\text{m)} \quad \dots\dots(2)$$

細孔分布関数  $D(r)$  は、既報<sup>12)</sup> のように

$$D(r) = (P/r) d(V_t - V)/dP \text{ (cm}^3/\mu\text{m)} \quad \dots\dots(3)$$

その相対値は

$$D(r)_{\text{rel}} = [(P/rV_t) d(V_t - V)/dP] \times 100 \text{ (\%/}\mu\text{m)} \quad \dots\dots(4)$$

ここに  $V_t$  : 全空隙容積,  $V$  :  $r$  よりも小さい径の空隙容積。

**b** B測定での残留空気の影響 試作したポロシメータの真空度は水銀導入前で 0.013 mmHg ( $1.76 \times 10^{-5}$  kg/cm<sup>2</sup>) であった。その結果、セルに水銀を導入するとき、ブラנקテストではU字管の一部やセルに残留する空気はセル上部で小気泡として観察される。気泡は水銀にかける圧力の増大で縮小し、これに対応して測容毛管のメニスカスが低下(圧入容積が増大)して一定値に近づく (Fig. 2 の太い破線)。これに反して、固定した3個の試験片 (マカンバ辺材) をセルに

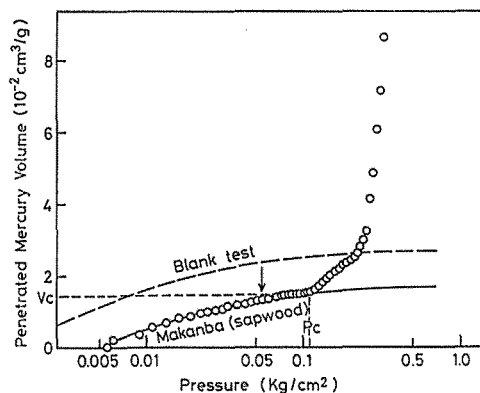


Fig. 2 Mercury pressuring curves for blank test of sample cell and sapwood of Makamba.

入れた実験では、セルに気泡が認められず、圧力の増大で圧入容積はブランクテストの曲線に平行に増大し、圧力  $P_e$  ( $0.095\text{kg/cm}^2$ ) で平行線から離れいちぢるしく増大する (Fig. 2 の白丸)。しかも  $P_e$  に対応する  $r$  約  $80\text{ }\mu\text{m}$  は C 測定で得たマカンバ辺材の最大道管半径と一致する。以上の結果から、 $P_e$  での水銀圧入容積  $V_e$  を空隙への水銀圧入容積の基準点 ( $V_e=0$ ) とすることとした。

他方、試験片にトラップされた気泡は空隙への水銀圧入に対して抵抗する。すなわち、圧入に要する圧力には  $\sigma$  にうちかつための圧力  $P$  のほかに、トラップされた空気の圧縮に要する圧力  $P_a$  が加わる。その最大値は

$$P_{a\text{ max}} = P_1(V_t/V_{a\text{ min}} - 1) \quad \dots\dots(5)$$

ここに、 $P_1$ : 初期圧力、 $V_{a\text{ min}}$ : 最大圧力 ( $1\text{kg/cm}^2$ ) 下の未圧入空隙容積 ( $=V_t(1-V_{Hg\text{ max}})$ ,  $V_{Hg\text{ max}}$ : 水銀圧入最大比容積)。

したがって(5)式は

$$P_{a\text{ max}} = P_1 V_{Hg\text{ max}} / (1 - V_{Hg\text{ max}}) \quad \dots\dots(6)$$

マカンバ辺材の B 測定では、 $P_{a\text{ max}} = 2.44 \times 10^{-3}\text{kg/cm}^3$  であり、最大圧力の 0.24% にすぎない。

c B 測定での水銀圧入の平衡状態 既報<sup>12)</sup>のように、ミクロな空隙を対象とする高圧 ( $2800\text{ kg/cm}^2$ ) では、水銀圧入量は加圧時間に対して放物線的に増大し平衡状態に達するには長時間 (60分) を要する。B 測定 (低圧域) についてこの関係を検討するため、マカンバ心材について  $0.15 \sim 1\text{ kg/cm}^2$  での 5 段階の圧力で、それぞれ 4, 20, 40 および 60 分加圧後の水銀圧入量を求めた。結果はいずれも圧入量が加圧時間で増加するが、4 分と 60 分後の差が小さく、これによる圧入曲線の相違が無視できるものであった。したがって B 測定では 4 分間加圧後の水銀圧入容積を求めることとした。

## 2・2 永久空隙

木材には吸湿乾燥によってその大きさがほとんど変らない、いわゆる永久空隙が存在する。水銀圧入法は乾燥試料について大きさの広範囲なこの空隙を連続して測定できる利点をもつが、構造が複雑な広葉樹では求めた空隙の同定が次の理由から必ずしも容易ではない。すなわち、(1)道管のように広範囲の大きさの内こうをもつ構成要素があり、また小道管と木部繊維のように複数要素の内こうの大きさが重複している。(2)1細胞の内こう断面の形状や大きさが一様でなく、円形でないため、その空隙全体を満たすための圧力の範囲が広い。(3)隣接空隙が狭い空隙で結ばれているため、異種細胞間とはもとより同種間においても圧入に対して顕著なボトルネック効果を伴う。

しかし、マカンバ心材について既報<sup>1)</sup>のように、厚さ  $1 \sim 5\text{ mm}$  の木口試験片でいずれも共通して  $0.1 \sim 2.1$ ,  $2.8 \sim 350$  および  $420 \sim 1500\text{ kg/cm}^2$  の三つの圧力域で水銀圧入量の著しい増加がみられた。また、Schneider ら<sup>9)</sup>は Heizman が以前に用いた分類にしたがって、半径  $1\text{ }\mu\text{m}$  以上を Makroporen,  $0.1 \sim 1\text{ }\mu\text{m}$  を Mesoporen,  $0.1\text{ }\mu\text{m}$  以下を Mikroporen とする永久空隙の区分を示している。

ヤマザクラ、マカンバの心材について、厚さ  $1$ ,  $2.5$  および  $5\text{ mm}$  の木口試験片の A 測定による水銀圧入曲線を Figs. 3, 4 に示す。これらの図で圧入水銀の比容積とは全圧入 (空隙) 容積に対する圧入容積の百分率である。両樹種とも 3 段階の階段状曲線を示し、踏板およびけこみ板に相当する直線部分がそれぞれの水平および垂直位からある角度傾斜している。いま、図示のように各直線部を延長し、二つの踏板に相当する直線延長線の交点間を便宜上それぞれ 2 等分する点で曲線を分けるとき、両樹種の永久空隙は次のように区分できる。すなわち、ボトルネック効果の顕著な厚さ  $5\text{ mm}$  の試験片において、マクロ空隙の半径は両樹種ともほぼ  $3\text{ }\mu\text{m}$  ( $3 \cdot 10^4\text{ }\text{\AA}$ ) 以上で、

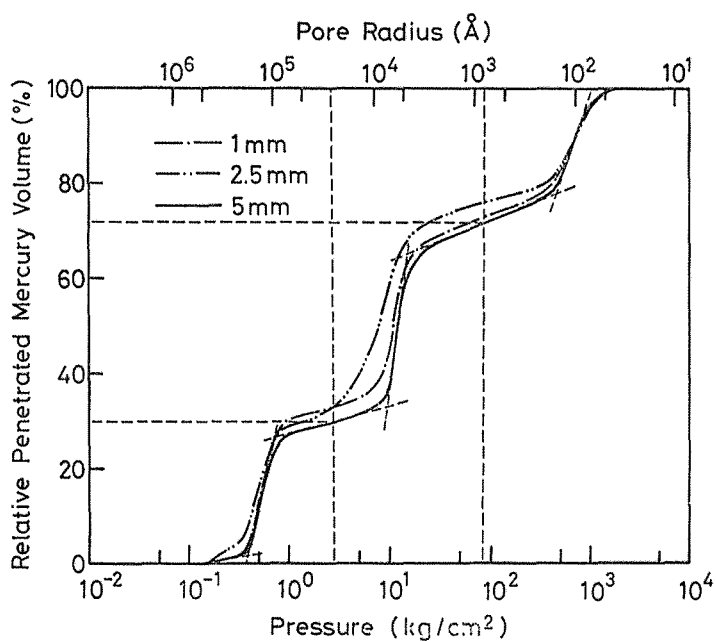


Fig. 3 Mercury pressuring curves of various thickness specimens for heartwood of Yamazakura

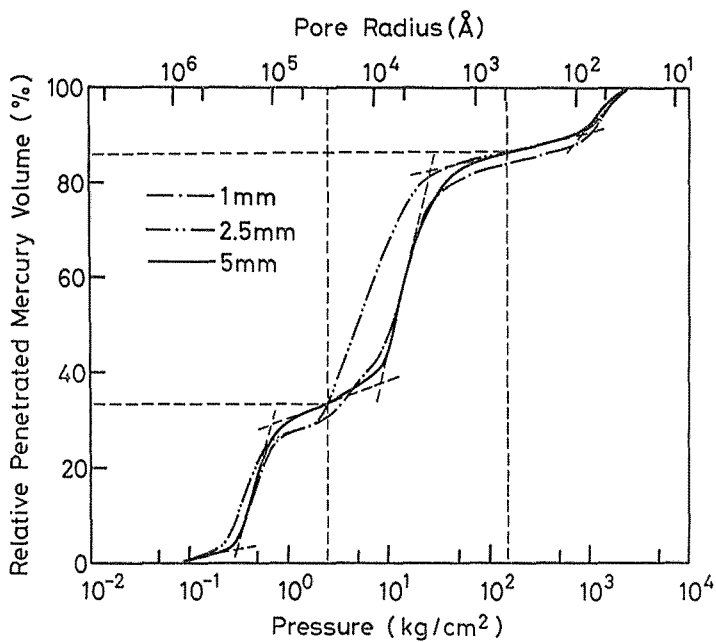


Fig. 4 Mercury pressuring curves of various thickness specimens for heartwood of Mekanba

その上限がおおよそヤマザクラ  $50\mu\text{m}$  ( $5 \cdot 10^5 \text{\AA}$ ), マカンバ  $100\mu\text{m}$  ( $10^6 \text{\AA}$ ) であり, 比容積がそれぞれ 30 および 32.5 % であり近似する。これに反してマイクロ空隙の半径の上限はヤマザクラ  $0.08\mu\text{m}$  ( $8 \cdot 10^2 \text{\AA}$ ), マカンバ  $0.05\mu\text{m}$  ( $5 \cdot 10^2 \text{\AA}$ ) であり, それぞれの比容積も 29, 14 % と相違し, しかもいずれも細胞壁内空隙としては過大である。他方, 圧入曲線の試験片厚さによる差異は既述<sup>1)</sup> のようにボトルネック効果によるものと考えられるが, 両樹種ともマクロおよびマイクロ空隙への圧入比容積の増加部ではこの差異がほとんどみられず, 両者の中間, すなわちサブマクロ空隙の増加部において認められる。

以上の結果から, マクロ空隙が道管および試験片木口で開口している木部繊維などの内こうに, サブマクロ空隙が壁孔対を通過しての木部繊維内こうに, ミクロ空隙が無孔壁孔膜を通過しての放射組織の細胞内こうおよび細胞壁内の微小な空隙にそれぞれ主として帰属するものと推定する。

### 2・3 マクロ空隙

大ききで三つに区分できる広葉樹永久空隙のうち, 流動通路として重要な道管を含むマクロ空隙について, 試作ポロシメータによる B 測定と顕微鏡による C 測定の結果を比較検討した。

B 測定で得たマクロ空隙の累積比容積曲線は, ヤマザクラ (Fig. 5 の白丸) では圧力  $0.36\text{kg}/\text{cm}^2$  (空隙半径  $20\mu\text{m}$ ) で急激に立上り, 常圧で約 27 % の比容積に達する。これに対してマカンバでは低圧側で緩やかに上昇したのち, 心材 (Fig. 6) では  $0.29\text{kg}/\text{cm}^2$  ( $25\mu\text{m}$ ) で, 辺材では  $0.21\text{kg}/\text{cm}^2$  ( $35\mu\text{m}$ ) で立上り常圧でそれぞれ 22, 27 % の比容積に達する。他方, 細孔分布はヤマザクラ (Fig. 7) では径の狭い範囲に集中して  $16 \sim 18\mu\text{m}$  にピークを示すのに対して, マカンバでは広い範囲にわたり大径側にすそをひき, 心材 (Fig. 8) で  $20 \sim 23\mu\text{m}$ , 辺材で  $27 \sim 30\mu\text{m}$  にピークを示す。

以上の結果を道管を対象として C 測定で求めた結果 (Figs. 5~8 の黒丸) と対比するとき, 次のことが認められる。まず, 累積曲線の比容積の最大値で C 測定は B 側測定に比べてヤマザクラで約 2.4 %, マカンバで心材約 3.2 %, 辺材約 3.4 % 小さく, B 測定値には道管以外で試験片木口に開口した木部繊維などの内こうを含むことが明らかである。また, 両測定の累積曲線は両樹種とも容積が急増する範囲でほぼ平行しており (Figs. 5, 6), 細孔分布曲線のピークは C 測定に比べて B 測定がヤマザクラで  $5 \sim 10\mu\text{m}$  (Fig. 7), マカンバで心材  $25 \sim 30\mu\text{m}$  (Fig. 8), 辺材  $30\mu\text{m}$  いずれも小径側にずれている。これらのずれは道管せん孔板の顕微鏡による観測結果などから次のように説明できる。すなわち, ヤマザクラではせん孔縁幅が  $5 \sim 10\mu\text{m}$  であることから, B 測定において道管の水銀圧入有効断面が単せん孔によって狭小になることによるものである。また, 道管径範囲が広い ( $5 \sim 80\mu\text{m}$ ) マカンバでは, 水銀は低圧側で試験片両木口に開口している大径の道管要素に入り, 圧力の増大で次第により小径の開口要素に入る。圧力が階段せん孔板のスリット幅に相当する有効半径に対応する大きさに達するとき, せん孔を通過して多量の水銀が道管内こうに入る。このような過程は, B 測定ですそをひく大径側の空隙容積が水銀圧入全容積のほぼ 10 % である (Fig. 6) のに対して, 試験片長さ (L) がほぼ 9 mm で道管要素の長さが  $0.6 \sim 1.2\text{mm}$  である<sup>13)</sup> こと, およびせん孔幅が  $9 \sim 27\mu\text{m}$ , 要素長軸に対するせん孔板傾斜角がほぼ  $40^\circ$  で圧入に有効なスリット幅が  $12 \sim 35\mu\text{m}$  であり, これが B 測定で求めた細孔分布のピークが含まれる空隙半径の範囲 (Fig. 8) とほぼ一致することによって裏付けられる。

## お わ り に

広葉樹供試 2 散孔材の永久空隙は大ききによって三つに区分できる。このうち, 流動通路として重要な道管を主とするマクロ空隙に対して, 水銀圧入法がボトルネック効果の評価を含む通路

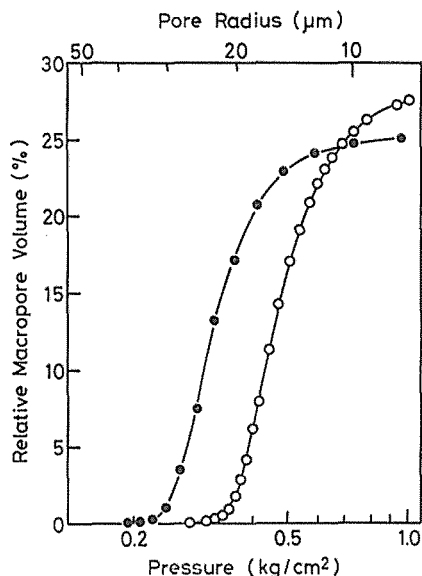


Fig. 5 Cumulative macropore volume for heartwood of Yamazakura  
○ : Mercury porosimetry  
● : Microscop measurement for vessels

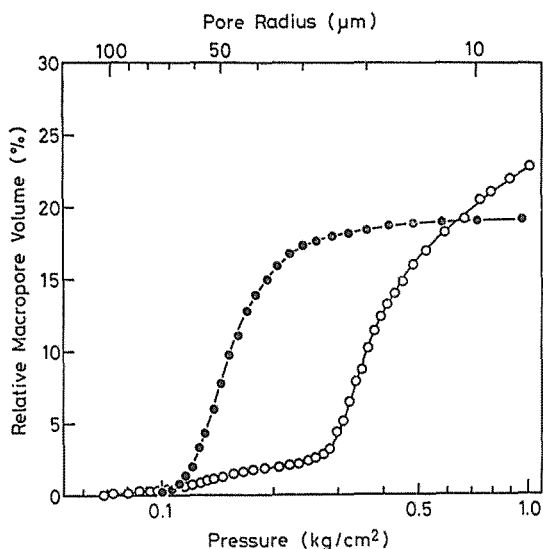


Fig. 6 Cumulative macropore volume for heartwood of Mekanbas  
Symbols are the same as shown in Fig. 5.

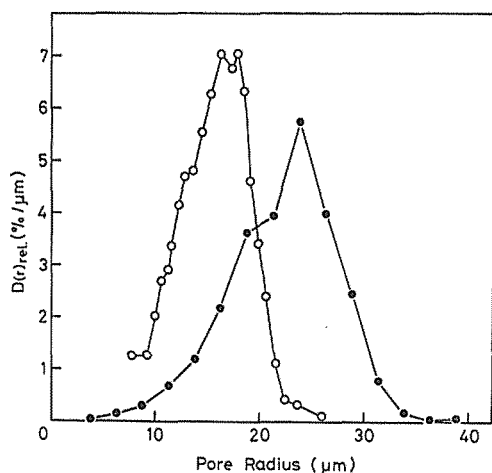


Fig. 7 Macropore size distribution for heartwood of Yamazakura  
Symbols are the same as shown in Fig. 5.

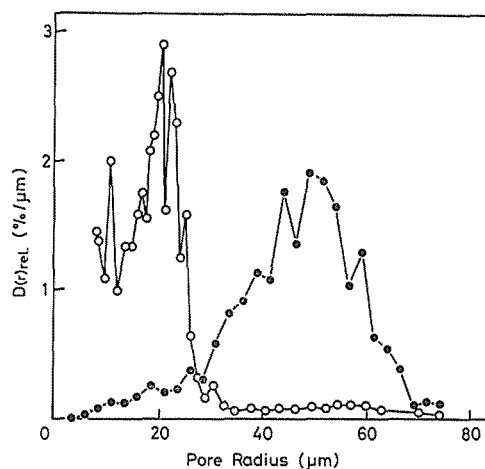


Fig. 8 Macropore size distribution for heartwood of Maknba  
Symbols are the same as shown in Fig. 5.

情報を提供することを顕微鏡法の援用によって明らかにできた。空隙構造の解明は特に木材において重要であり、今後の研究に期待されるところが大きい。

本研究を進めるにあたり多大のご指導とご援助をいただいた京都大学木材工学研究室佐道健助教授、石丸優助手、加藤弘之助手に感謝いたします。

## 引用文献

- 1) 乾 一, 中戸莞二: 乾燥木材の空隙構造, とくにマクロな空隙およびサブマクロな空隙について: 京大演報, No. 45, 217-226 (1973)
- 2) Ritter, H. L. and C.L. Drake: Pore size distribution in porous material. I. Pressure porosimeter and determination of complete macropore-size distribution: Ind. Eng. Chem. (Anal. Ed.) **17**, 787-791 (1945)
- 3) Joyner, L. G., E. P. Barrett and R. Skold: The determination of pore volume and area distribution in porous substances. II. Comparison between nitrogen isotherm and mercury porosimeter methods: J. Amer. Chem. Soc. **73**, 3155-3158 (1951)
- 4) Quynn, R. G.: Internal volume in fibers: Textile Res. J., **33**, 21-34 (1963)
- 5) Stayton, C. L. and C. A. Hart: Determining pore-size distribution in softwoods with a mercury porosimeter: F.P.J. **15**, 435-440 (1965)
- 6) Stone, J. E., A. M. Scallan G.M.A. Aberson: The wall density of native cellulose fibers: Pulp and Paper Mag. Can., **67**, T-263-268 (1966)
- 7) Juntgen, H. und M. Schwurger: Aussagekraft der Quecksilber-Pososimetrie bei der Charakterisierung poröser Stoffe: Chemie-Ing. -Techn., **38**, 1271-1278 (1966)
- 8) Reich, B.: Die Bestimmung der Porengrößen-Verteilung in grobporösen Körpern mit Hilfe der Quecksilber-Pososimetrie: Chemie-Ing. -Techn. **39**, 1275-1279 (1967)
- 9) Schneider, A. und L. Wagner: Bestimmung der Porengrößen-Verteilung in Holz mit dem Quecksilber-Pososimeter: Holz als Roh- und Werkstoffe, **32**, 216-224 (1974)
- 10) Schneider, A.: Beitrag zur Porositätsanalyse von Holz mit dem Quecksilber-Pososimeter: Holz als Roh- und Werkstoffe, **37**, 295-302 (1979)
- 11) Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen aus Physik • Chemie • Astronomie • Geophysik und Technik: S. 421, Springer-Verlag, (1956)
- 12) 谷口 謙, 原田 浩, 中戸莞二: ヒノキ乾燥材の空隙構造, 主として水銀圧入法による検討: 木材学会誌, **25**, 528-534 (1979)
- 13) 島地 謙, 須藤彰司, 原田 浩: 木材の組織, 34-135 森北出版 (1976)

## Résumé

In order to obtain some quantitative information on the flow paths of hardwood, the structures of permanent pores in wood have been investigated for the species with different vessel perforations such as Yamazakura (*Prunus jamasakura* OHWI) and Makanba (*Betula maximowicziana* REGEL) by the mercury porosimetry and the microscopic method.

It is obvious from the pressuring curve (Figs. 3 and 4) obtained by the mercury porosimetry that the permanent pores in both the wood species can be classified into micro-, submacro- and macropores, depending upon the pore size.

Since the micropores with less than  $0.05\text{--}0.08\mu\text{m}$  radius contribute 14 or 29% to the total pore volume, they are assigned to the lumen of ray cell penetrating the pit membrane as well as the fine pores in cell wall. The submacropores having the radius of less than  $3\mu\text{m}$  can be assigned to the lumen of wood fiber being connected through pit-pairs, because of the corresponding parts of pressuring curves depend on the thickness of wood specimen.

The macropores having radius more than  $5\mu\text{m}$  include the opening of the lumen of wood fibers at the cross section which share 2.4-3.4% of the total pore volume in addition to the lumen of vessel sharing 20-25% of whole pores (Figs. 5 and 6).

The peak position of the pore size distribution curve obtained by the mercury porosimetry shifts to the smaller radius by 5-10 $\mu$ m in the case of Yamazakura, and by 25-30 $\mu$ m in the case of Makanba, compared to that obtained by microscopic method (Figs. 7 and 8). This is caused from the difference in the bottle-neck effect on pressuring for simple perforation (Yamazakura) and scalariform perforation (Makanba), respectively.