

木材の細胞膜構造と収縮異方性 (I)

仮道管の径接細胞膜におけるリグニン分布

加 藤 弘 之・中 戸 莞 二

The Transverse Anisotropic Shrinkage of Wood
and Its Relation to the Cell Wall Structure (I)

The Lignin Distribution in the Radial and Tangential
Walls of Coniferous Wood Tracheids

Hiroyuki KATO and Kanji NAKATO

目 次

要 旨.....	284	おわりに.....	289
はじめに.....	285	引用文献.....	291
方 法.....	285	Résumé	291
結果および考察.....	285		

要 旨

木材横断面における収縮異方性の原因としては、種々のオーダーの構造単位に関連してのものが考えられるが、細胞膜の非晶構造、とくにリグニン分布にその要因を求めた例は少ない。

そこで、本報では針葉樹材スギ・モミについて、フロログルシン—塩酸によるリグニン呈色反応を利用し、細胞膜中のリグニンをマイクロフォトメーターで定量化して、これと微小木口切片（厚さ 30μ ）の収縮異方度との関連を追求した。これによって、細胞膜構造のうち、リグニン分布状態が収縮異方性におよぼす程度を検討して、2, 3 の知見を得た。

(1) 形成過程の早材および晩材仮道管において、接線膜よりも半径膜の呈色濃度が、生材でとくに大きい。

(2) いったん乾燥した成熟材の早材および晩材仮道管においても、半径膜の呈色濃度が、接線膜のそれよりも大である。

(3) 呈色濃度の接線膜に対する半径膜の比 $I_r/I_t > 1$ は、同一年次で晩材の方が大きい。

(4) いったん乾燥したスギの辺材および心材の微小木口切片について、接線収縮の半径収縮に対する比 (β_t/β_r) と補正した呈色濃度比 (I_r'/I_t') の関係を求めた (Fig. 5)。この結果から次のことが理解できる。すなわち、

(i) β_t/β_r と I_r'/I_t' の関係は、いずれも明らかに直線的で、関係直線は、(ii) 早材仮道管においてはいずれも 45° の線に近く位置するが、晩材仮道管においてはいずれも I_r'/I_t' 軸側に偏る。したがって、これらのもつ意味を考えると、心辺材とも早材仮道管の横断面における収縮異方性に、径接細胞膜におけるリグニン分布の差がおよぼす影響は大きく、晩材仮道管では、リグニン分布の差も関与す

るが、ほかに βt を小さくするか、 βr を大きくする他の因子の影響が著しいものと思われる。

はじめに

木材の横断面における収縮異方性は、その組織構造によるものと考えられる。既往の研究で、その原因が主として細胞膜の微細構造によるものであり、とりわけ (1) セルロース結晶体の定位性 (2) リグニン分布 が重要であることが指摘されているが¹⁾²⁾³⁾、後者についての実証的検討例が少ない。

そこで筆者らは、形成過程の木部組織について細胞膜構造と収縮異方性の関係を検討することとし、その第1段階としてスギおよびモミについて、仮道管径接細胞膜のリグニン分布状態をフロログルシン-塩酸による呈色反応によって検討した。

この実験を行なうにあたって、試料採取に種々のご配慮をいただいた佐野教授ならびに和田助教授に深く感謝の意を表する。

方 法

1) 試料：スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don.) およびモミ (*Abies firma* Sieb. et Zucc.) (京大芦生演習林産) の生材と気乾材からとったブロックを冷水浸漬によって軟化し、マイクロトームで 30 μ 厚さの木口切片を作製し、これを直ちに蒸留水中に貯え試料とした。なお、生材試料は、採取後呈色させるまでの間、乾燥しないように留意した。

2) フロログルシン-塩酸呈色反応とその濃度測定法：飽水試料にフロログルシンの 10% アルコール溶液を滴下、ついで同容の 12% 塩酸を滴下し、ほぼ 1 時間後にポジティブカラーの顕微鏡写真 (100 倍) 撮影を行なった。呈色濃度の測定はカラー・スライドの濃度をマイクロフォトメーター (島津製読取式測微光度計 II 型) で定量化⁴⁾することによった。すなわち、マイクロフォトメーターのスリット幅 (0.4mm) を、早材仮道管重複細胞膜厚さ以内とし、 0.4×2.7 mm の視野について、径接両細胞膜それぞれの呈色濃度を求めた。したがって測定値は重複細胞膜の平均濃度を示す。

3) 収縮率の測定：呈色濃度測定に供した試料の長軸方向に連続してえた試料について、早・晩材別に仮道管のみを含む微小木口切片をとり、室温 (18~20°C) で湿潤状態からシリカゲル乾燥状態 (R.H.: 40~45%) にまで緩徐に乾燥した。飽湿およびシリカゲル乾燥状態における試片の接線ならびに半径方向の寸法は、800 倍の顕微鏡下でマイクロメーター (最小読み 1/800mm) により直接測定し、収縮率は湿潤長に対して示した。この際顕微鏡下において、微小切片の水分平衡が保たれるように、所定湿度の空気をもつマイクロチェンバー (Fig. 1) 中に試料を保持して検鏡した。なお、切削によるきずの影響⁵⁾を考え、収縮率測定に供した切片すべてについて、きずが生じていないことを確めた。

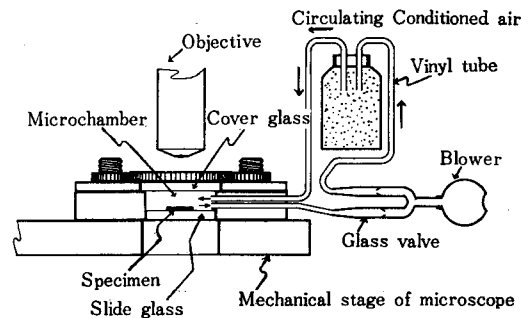


Fig. 1. Diagram of microchamber.

結果および考察

1) 顕微鏡によるリグニン呈色反応の観察

スギおよびモミの厚さ 30 μ の木口連続切片について、木化の状態をカラー写真で Photo 1~8 に示す。

まず、形成過程における状態をみると (Photo 1), 2次膜形成のみられる細胞よりも外側で、すでに接線膜よりも半径膜において木化が顕著である。木化の進行については Wardrop⁹⁾の観察があり、彼によると、分化過程の繊維では、表面生長 (surface growth) の段階が完了し、2次肥厚が始まる時期に最初の木化の徴候が現われる。すなわち、木化はまず1次膜から始まって細胞間層に拡がり、一方、徐々に2次膜へと進むが、最初接線膜で進行し、次に半径膜におよぶ。Photo 2はモミ生材の晩材成熟組織で、半径膜が接線膜よりも高い呈色濃度を示している。さらに気乾材のモミおよびスギについても同様のことが認められる (Photo 3, 4)。

スギ気乾材について、呈色反応前の木口切片では早・晩材とも径接細胞膜の明度に顕著な差が認められないが (Photo 5, 6), 呈色後の切片では、晩材仮道管において半径膜の呈色濃度が接線膜よりも著しく大きく、早材仮道管において半径膜の呈色濃度がやや大きい (Photo 7, 8) ことが肉眼的にも

観察される。

2) ミクロフォトメーターによる径接細胞膜の呈色濃度

リグニン呈色反応後のカラースライドについて、径接両膜の濃度を、ミクロフォトメーターにより Fig. 2に示す位置で測定した。半径膜ならびに接線膜の濃度はそれぞれ次式によって求められる。

$$I_{r1} = \log J_0/J_r, \quad I_{t1} = \log J_0/J_t$$

(J_0 : フィルムの透明部に対する吸光係数。 J_r, J_t : 測定部分に対する吸光係数)

呈色濃度の髄からの年次による変化は図示のとおりである (Fig. 3, 4)。これらの図から次のことが理解できる。すなわち、

(1) スギ、モミ気乾材の早材および晩材仮道管は、いずれも半径膜は接線膜よりも呈色濃度が大きく、年次による変動も著しい。

(2) 半径膜においては、呈色濃度が移行帯付近で低下する傾向がある。

(3) 呈色濃度の接線膜に対する半径膜の比 ($I_{r1}/I_{t1} > 1$) は、同一年次で晩材が早材よりも大である。

(4) 年次による I_{r1}/I_{t1} は、髄、移行帯および最外部において低い値を示し、したがって、心材および辺材部においてそれぞれ一つのピークを示す。

木化過程で膜中に填充形成されたリグニンは非晶構造の高分子無定形物質で、その形態がとらえ難い。材中でのリグニン分布を、辺・心材

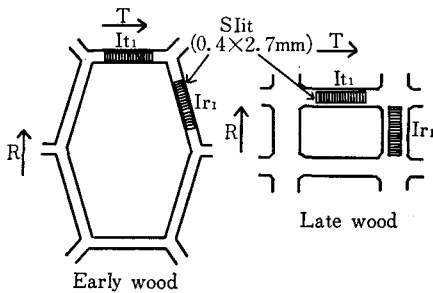


Fig. 2. Locality of measurement of color intensity with a microphotometer. Schematic cross section of an early-wood tracheid (left) and a late-wood tracheid (right) (T: tangential direction in the wood. R: radial direction in the wood.)

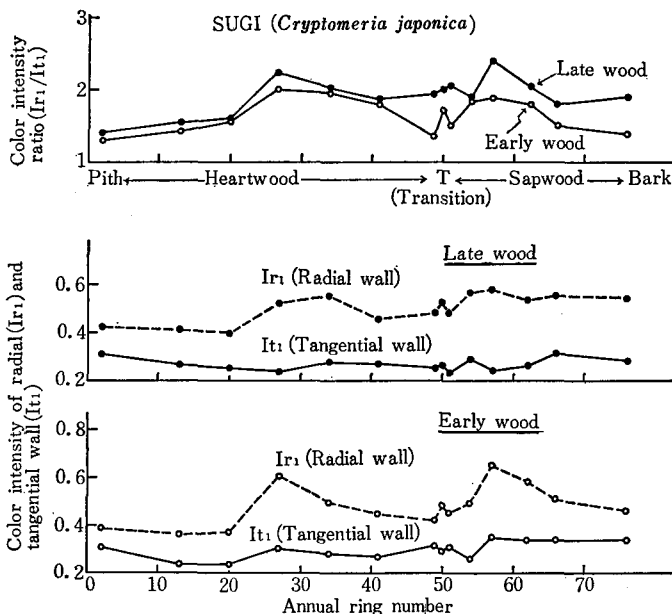


Fig. 3. Variations of color intensity of radial (I_{r1}) and tangential walls (I_{t1}) and the ratio (I_{r1}/I_{t1}) from pith to bark Sugi (*Cryptomeria japonica*), air-dried wood tracheids.

別⁷⁾, 早・晩材別⁸⁾にみた例はいくつかあるが, 径接細胞膜の相違について定量的に検討した例がほとんどなく, 最近では, 佐伯および中戸⁴⁾が形成過程のスギ晩材について求めたものをみるにすぎない。

細胞膜中のリグニン分布については, かなり前から種々の方法で研究されており, リグニンの60~70%が細胞間層あるいは複合細胞間層に存在することは周知のところである⁹⁾¹⁰⁾。この分野での最近の成果を概観すると, Sachs¹¹⁾らは化学処理した材の電顕観察によって, 細胞膜におけるリグニンの分布密度のピークが複合細胞間層ならびに S_2 層にあらわれ, 2次膜においては結晶構造のまわりに散在する分岐状の3次元的網目構造として存在することを明らかにしている。

しかしながら, 一般にセルロースに対して非常に有効な手段となるX線や電顕も, 未処理材のリグニンに直接適用することはできない。そこで, リグニンの微細構造に対しては, 紫外線吸収や蛍光による方法が用いられる。Lange¹²⁾はトウヒについて紫外線顕微鏡によりリグニン濃度を測定し, 内腔付近で10~20%, 複合細胞間層で60~90%, 平均それぞれ16%, 73%の値を得ている。また, Frey-Wyssling¹³⁾も紫外線および蛍光分析により, 1次膜には2次膜に含まれるリグニンの2倍以上が集中し, これら膜層内でのリグニン分布はそれぞれ一様であることを示している。一方, BerlynとMark¹⁴⁾は, 複合細胞間層に含まれるリグニン量についての既往の評価はすべて過大であるとして, 複合細胞間層が針葉樹材では10~12%の容積率を占め, 木部に25ないし30%のリグニンを含んでいることから, この膜層が全てリグニンで構成されるとしても, 半分以下を含みうるに過ぎないと報告している。

晩材仮道管においては複合細胞間層が厚く, このことが本報における高い I_{r1} の値に影響をおよぼしていることが考えられる。しかしながら, Photo 4にもみられるように, 複合細胞間層の径接両膜における分け前がほとんど変わらないにも拘わらず, リグニンの呈色濃度は径接両膜で著しく異なっており, I_{r1} , I_{t1} の値が単に複合細胞間層の膜中に占める割合に影響されるものではなく, 複合細胞間層自体の木化の程度が径接細胞膜において異なることによるものであることが理解できよう。

3) 微小木口切片の収縮異方度 (β_t/β_r) と呈色濃度比 (I_r'/I_t') の関係

既述のように呈色濃度を求めた木口切片と連続してとった切片から, 10~20細胞を含む微小切片

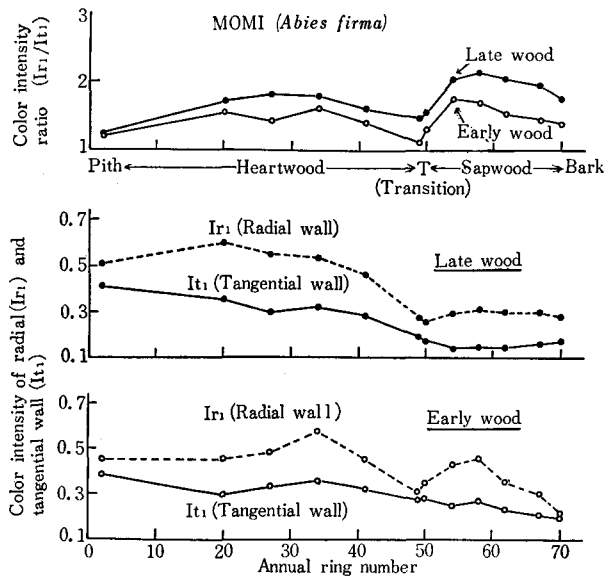


Fig. 4. Variations of color intensity of radial (I_{r1}) and tangential walls (I_{t1}), and the ratio I_{r1}/I_{t1} from pith to bark—Momi (*Abies firma*), air-dried wood tracheids.

Table. Anisotropic shrinkage in transverse section of isolated early and late wood tracheids free from ray cells. Sugi (*Cryptomeria japonica*).

Specimen (Annual ring number)	Early wood		Late wood	
	β_r (%)	β_t (%)	β_r (%)	β_t (%)
A (13)	3.70	5.40	12.52	6.25
B (20)	3.48	5.39	11.81	6.02
C (27)	2.95	6.20	11.50	8.86
D (34)	3.24	6.48	13.12	8.78
E (41)	3.50	6.56	11.07	6.93
F (50)	3.43	7.20	11.24	8.18
G (54)	2.90	6.47	12.90	7.87
H (62)	2.97	6.36	11.18	8.66
I (66)	3.23	5.55	14.72	6.46
J (72)	3.28	5.25	12.04	8.04

β_r , β_t : Radial and tangential shrinkage

をとり、これを対物鏡下のマイクロエンバー中で、飽湿およびシリカゲル乾燥状態で測長し、微小切片の径接両方向における収縮率を決定した。このようにして求めた接線 (βt) および半径収縮 (βr) は Table に示すとおりである。一方、リグニン呈色前における切片の明度が、径接両膜において異なることが、すでに述べた I_{r1}/I_{t1} に影響するものと思われる。そこで、呈色前の明度 (I_{r2} , I_{t2}) を呈色後の明度と同様に示して求め、これに呈色濃度が加算されたとして、 I_{r1}/I_{t1} を次のように補正した。

$$(I_{r1} - I_{r2}) / (I_{t1} - I_{t2}) = I'_r / I'_t$$

このように補正した呈色濃度と横断面の収縮異方度の関係を Fig. 5 にスギについて示した。この図から理解できるように

(1) いずれの場合も、 $\beta t/\beta r$ と I'_r/I'_t の関係は明らかに直線的である。

(2) 関係直線は、早材仮道管においてはいずれも 45° の線に近く位置するが、晩材仮道管においてはいずれも I'_r/I'_t 軸側に偏る。

これらの結果は次の意義をもつものと思われる。すなわち、

(1) リグニン含有量の径接細胞膜における相違は、心、辺材の早材および晩材仮道管の横断面における収縮異方性にいずれも関与する。

(2) とくに心・辺材とも早材仮道管の横断面における収縮異方性に、径接細胞膜におけるリグニン含有量の差がおよぼす影響は大きい。

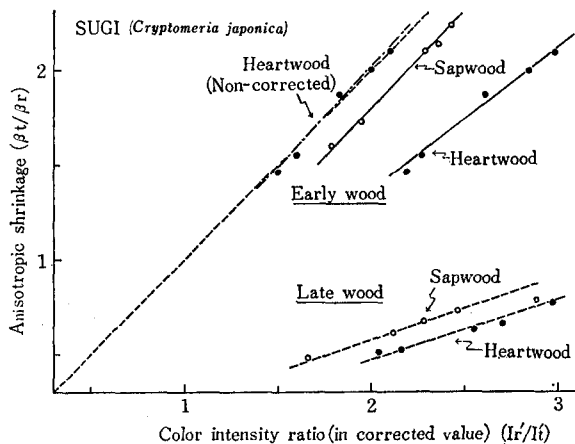


Fig. 5. Relations between the color intensity ratio in corrected value I'_r/I'_t of radial and tangential walls and the anisotropic shrinkage in transverse section—Sugi (*Cryptomeria japonica*), air-dried wood tracheids.

(3) 心・辺材ともに、晩材仮道管の横断面における収縮異方性は、径接細胞膜におけるリグニン含有量の差のほか βt を小さくするか、あるいは βr を大きくする他の因子の著しい影響をうける。

本報で求めた各膜のリグニン含有量の順位は、晩材接線膜 < 早材接線膜 < 晩材半径膜 < 早材半径膜であり、また仮道管細胞群の膜幅収縮率はスギについて、早材半径膜 (3.3%) < 早材接線膜 (6.1%) < 晩材接線膜 (7.7%) < 晩材半径膜 (12.2%) である。

Bosshard¹⁵⁾ や中戸¹⁶⁾ は、段階的脱リグニン処理によって木材切片の半径ならびに接線収縮が未処理の切片よりも大になり、しかも横断面の収縮異方度はいくぶん小さくなることを見出している。このことから両者は半径膜

と接線膜におけるリグニン含有量の差が、収縮異方性の要因の一つであるとしているが、本報の早材仮道管における I'_r/I'_t と $\beta t/\beta r$ の間の高い相関関係はこれを裏づけるものであろう。

既往の研究ならびに本報における検討の結果から、仮道管細胞の横断面の収縮異方性に関連するリグニン分布のパターンは二つに分けられる。すなわち、一つは複合細胞間層に存在するリグニンで、コンクリート枠として、仮道管細胞の収縮を外側から制約するものであり、もう一つは、2次膜中層のマイクロフィブリル間隙に存在するリグニンで、充填物質として親水膨潤性のセルロース結晶体を補強するが、細胞膜の収縮を制約する。したがって、横断面の収縮異方性におよぼすリグニン分布の影響を論じる場合、これら両面からその影響を検討する必要がある。

ところで、リグニン分布以外の因子として考えられるものは、この場合、

微細構造のオーダーでは、2次膜中層のマイクロフィブリル傾斜角³⁾¹⁷⁾

光学顕微鏡のオーダーでは、細胞の形状や大きさ¹⁸⁾

などである。2次膜中層のマイクロフィブリル傾斜角については、原田ら¹⁹⁾の研究からスギで求めた関係、晩材半径膜 ($5.6 \sim 6.2^\circ$) < 晩材接線膜 ($6.2 \sim 6.6^\circ$) < 早材接線膜 ($9.5 \sim 10.1^\circ$) < 早材半径膜 ($19.1 \sim 19.7^\circ$)、が知られており、さらに電顕観察²⁰⁾によりマイクロフィブリルの平行度は、傾斜角の大きい早材仮道管 ($20 \sim 30^\circ$) よりも傾斜角の小さい晩材仮道管 ($5 \sim 10^\circ$) の方が高いことが明らかにされている。また早材仮道管細胞は、径接両膜の厚さがほぼ一樣な長方形ないしは等方形に近い形状を有し (Fig 2)、細胞間層の厚さも小さく、径接両膜におけるその分け前がほぼ等しい。したがって早材仮道管における膜幅収縮はマイクロフィブリル傾斜角の差によっても半径膜よりも接線膜において大きく、細胞の収縮異方度 $\beta t / Br$ は1よりも大となる。

以上の結果、早材仮道管の径接細胞膜におけるマイクロフィブリル傾斜角の差とリグニン分布の差はともに仮道管細胞の横断面における収縮異方度に正の影響をもつ。これに反して、晩材仮道管、とくに生長期の後期に近いものほど、接線方向に扁平な長方形の厚膜細胞となり (Fig. 2)、幅の広い接線面におけるマイクロフィブリル傾斜角は、幅の狭い半径面におけるそれよりも既述のスギの例にもみられるように大である。したがって晩材仮道管細胞の横断面における収縮分力は接線方向よりも半径方向の方が大きく、この結果 $\beta t / \beta r < 1$ となる。一方、既述のように晩材仮道管のリグニン含有量は半径膜が接線膜よりも大きく、膜幅方向の収縮に対する制約作用は、半径膜において接線膜よりも大きいものと思われる。

したがって、このことから晩材仮道管においては細胞横断面における収縮異方度に対して、マイクロフィブリル傾斜角の差は負の作用を、リグニン分布の差は正の作用をおよぼし、その結果 $\beta t / \beta r$ と I_r' / I_t' の関係は直線的であるが、相関関係が低いものと思われる。

お わ り に

細胞膜構造のオーダーで細胞横断面の収縮異方性の原因を論ずるのに、今までは主として細胞膜の結晶構造の側から検討されてきたが、非晶構造との関連においてもさらに研究がなされるべきである。本報で、細胞の収縮異方性との関連において形成過程の仮道管細胞膜の木化度を測るのにマイクロフォトメーターを適用し、これを径接細胞膜のリグニン分布の定量化に用いたことは意味あることと考えられるが、既述のリグニン分布の二つのパターンについて、電顕のオーダーでの膜層に関連しての定量化が今後の課題であろう。

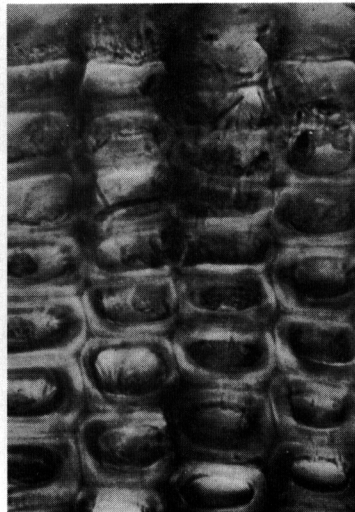


Photo 1. The outermost annual ring stained with phloroglucinol-hydrochloric acid, showing different coloring in radial and tangential walls during wood formation. Momi (*Abies firma*) in green late wood.

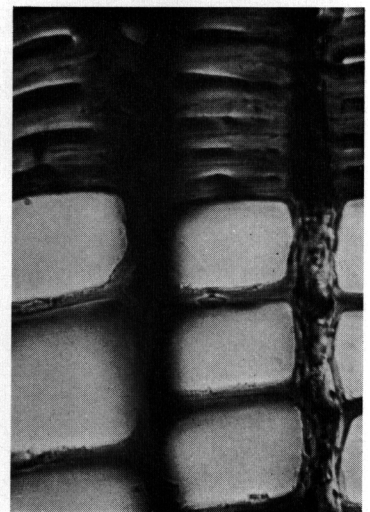
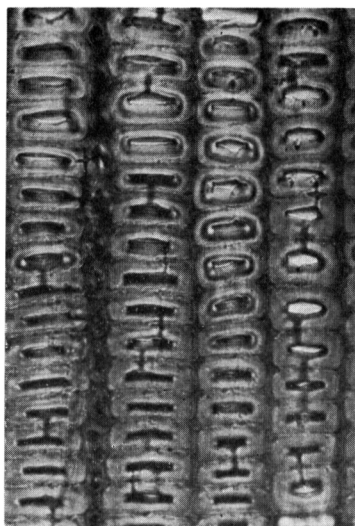
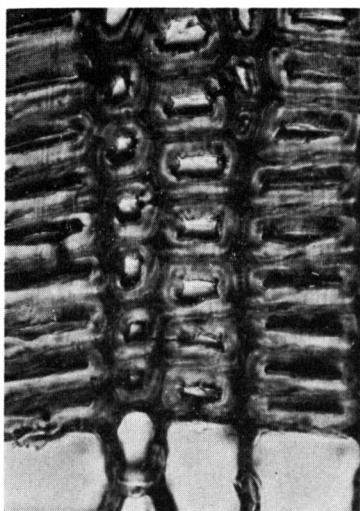
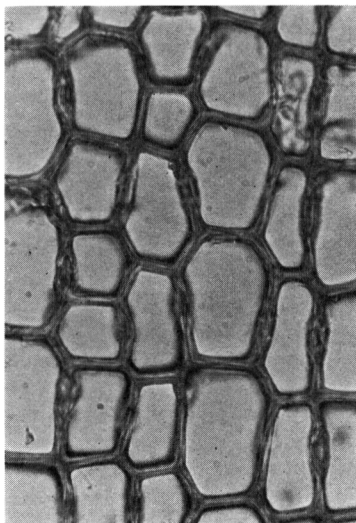
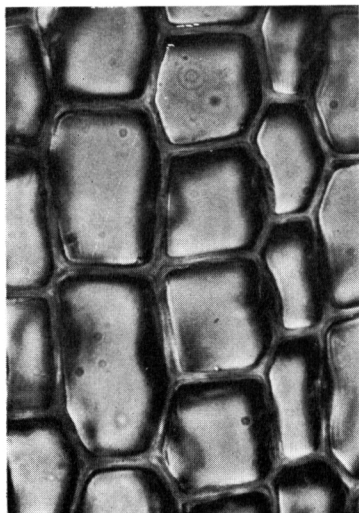
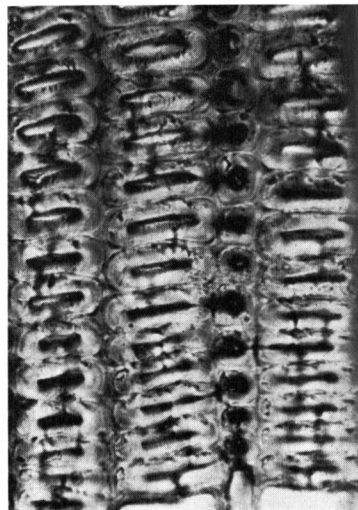
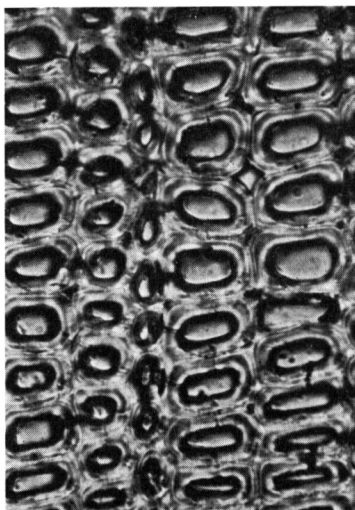


Photo 2. Mature wood tracheids showing higher coloring intensity in radial wall than tangential wall. Momi in green wood.



Photos 3 (left) and 4 (right). Transverse sections from air-dried wood of Momi (Photo 3) and Sugi (Photo 4), showing higher coloring intensity in radial wall than tangential.

Photos 5-a (left) and 5-b (right). Late wood tracheids of Sugi (*Cryptomeria japonica*) unstained (a) and stained (b) with phloroglucinol-hydrochloric acid. In unstained section (a) similar brightness both in radial and tangential walls is shown. In stained section (b) coloring intensity is higher in the radial wall than in tangential.



Photos 6-a (left) and 6-b (right). Early wood tracheids of Sugi unstained (a) and stained (b).

引用文献

- 1) 中戸莞二：木材の収縮異方性の機構に関する研究動向，木材誌，9 (5)，147，(1963)。
- 2) Kelsey, K. : A critical review of the relationship between the shrinkage and structure of wood, C. S. I. R. O. Aust. Div. For. Prod. Technol. Pap., (28), (1963)
- 3) Barber, N. F. and B. A. Myelan : The anisotropic shrinkage of wood, Holzforschung, 18 (5), 146, (1964)
- 4) Sacki, H. and K. Nakato : On the relation between shrinkage of late wood and cell wall maturation, 木材誌, 13 (2), 31, (1967)
- 5) Sadoh, T. and G. N. Christensen : Longitudinal shrinkage of wood—Part I : Longitudinal shrinkage of thin sections, Wood Science and Technology, 1, 226, (1967)
- 6) Wardrop, A. B. : The phase of lignification in the differentiation of wood fibers, Tappi, 40 (4), 225, (1957)
- 7) 渡辺治人：樹幹丸太の特性—特に未成熟材と生長応力について，九州大学木材理学教室，研究資料，No. 67～1，(1967)
- 8) Larson, P. R. : Changes in chemical composition of wood cell walls associated with age in *Pinus resinosa*, For. Prod. Jour., 16 (4), 37, (1966)
- 9) Mark, R. E. : Matrix-framework ratios, In cell wall mechanics of tracheids, Yale Univ. Press, 97, (1967)
- 10) 右田伸彦，米沢保正，近藤民雄編：木材化学，共立出版，東京，319，(1968)
- 11) Sachs, J. B., Clark, I. T. and J. C. Pew : Investigation of lignin distribution in the cell wall of certain wood, J. Polymer Sci., C2, 203, (1963)
- 12) Lange, P. W. : The distribution of the chemical constituents throughout the cell wall, In Fundamentals of Papermaking Fibers by F. Bolam (ed.), London, 147, (1961)
- 13) Frey-Wyssling, A. : Ultraviolet and fluorescence optics of lignified cell walls, In the Formation of Wood in Forest Trees by M. H. Zimmerman (ed.). Academic Press New York, 153, (1964)
- 14) Berlyn, G. P. and R. E. Mark : Lignin distribution in wood cell walls, For. Prod. Jour., 15 (3), 140, (1965)
- 15) Bosshard, H. H. : Ueber die Anisotropie der Holzschwindung, Holz also Roh u. Werkstoff, 14 (8), 23, (1956)
- 16) 中戸莞二：木材の収縮膨張に関する異方性の原因について（第19報），細胞膜の構造と異方的収縮，京府大学報，12, 98, (1960)
- 17) ————：木材の収縮膨張に関する異方性の原因について（第9報），顕微鏡的構造と異方的収縮，木材誌，4(4), 134, (1958)
- 18) Boutelje, J. B. : The relationship of structure to transverse anisotropy in wood with reference to shrinkage and elasticity, Holzforschung, 16 (2), 33, (1962)
- 19) 原田浩，貴島恒夫，梶田茂：針葉樹仮道管二次膜のミセル傾角（II），木材研究，(6)，34 (1951)
- 20) Harada, H. : Ultrastructure and organization of gymnosperm cell walls, In Cellular Ultrastructure of Woody Plants by A. Côté, Jr. (ed.), Syracuse Univ. Press, 222, (1965)

Résumé

This paper is concerned with the relationship between the transverse anisotropic shrinkage of wood and the lignin distribution in the cell walls. The experiment was made by use of two conifers, namely Sugi (*Cryptomeria japonica*) and Momi (*Abies firma*). The lignin content in the cell walls of tracheids was shown by the intensity of color reaction with phloroglucinol-hydrochloric acid on the cell wall. The absorption of light passing through color films of the stained cross section taken at a magnification of 400 times was measured by a microphotometer to determine the coloring intensity of the cell walls. In order to indicate the difference in the lignin content between the radial and tangential walls, a coloring intensity ratio (I_r/I_t) was proposed. On the other hand, the transverse shrinkage of small serial cross sections of 30 micron in thickness, including 10 to 20 tracheids free from ray cells, was microscopically measured, and the degree of anisotropic shrinkage was shown by an anisotropic shrinkage ratio (β_t/β_r). During the shrinkage measurement the sections were kept conditioned in a specially designed microchamber (Fig. 1).

The results obtained are as follows :

- 1) The coloring intensity measured by the microphotometer is higher in the radial walls than in the

tangential walls in either of green and air-dried mature wood tracheids (Photo 2, 3 and 4, and Fig. 3 and 4).

2) In green wood, the difference in the lignin content estimated from the coloring intensity is evident even in the eighth or ninth cells from the cambial zone for Sugi and the fourth or fifth cells for Momi, where the staining is more prominent in the radial walls than in the tangential walls (Photo 1).

3) The value of the coloring intensity ratio (I_r/I_t), being always greater than 1, is higher for late wood than for early wood in the same annual ring (Fig. 3 and 4).

4) In the small cross section cut from once air-dried sapwood and heartwood of Sugi, the relationship between the anisotropic shrinkage ratio (β_t/β_r) and the coloring intensity ratio corrected (I'_r/I'_t) are diagrammatically illustrated (Fig. 5). The relationship is shown to be linear. In the early wood the linear lines are drawn with a slope of about 45° , and this suggests that the anisotropic shrinkage in early wood is closely connected with the difference of lignin content between the radial and tangential walls throughout the sapwood and heartwood. In contrast, the linear lines obtained in the late wood lie with an easy slope. This means that the dependence of differential distribution of lignin in the cell walls on the anisotropic shrinkage of wood is less in late wood than in early wood, and in this case the effect of another factor should also be considered.