

クスノキにおける交錯木理の形成とその意義(第1報) ： 交錯木理の出現状況

小田, 一幸
九州大学大学院農学研究院

大石, 真伸
御殿場市役所(現)

緒方, 伸治
九州大学大学院生物資源環境学府

松村, 順司
九州大学大学院農学研究院

<https://doi.org/10.15017/14830>

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 82, pp.11-20, 2001-03-28. 九州大学農学部附属演習林
バージョン：
権利関係：

論文

クスノキにおける交錯木理の形成とその意義(第1報)* 交錯木理の出現状況

小田 一幸**・大石 真伸***・緒方 伸治****・
松村 順司**

抄 録

年輪界が明瞭なクスノキを用いて、交錯木理の出現状況を検討した。その結果を要約すると、次のとおりである。軸方向木部細胞は、髓付近では樹幹軸にほぼ平行に配向したが、髓から離れるにつれて樹幹軸に対して斜めに配向し始め、S旋回とZ旋回を交互に繰り返した。交錯木理形成の明確な開始時期や、S旋回とZ旋回のどちらから始まるかは、髓付近では交錯木理が存在していてもその程度が小さいためははっきりしないが、髓から3~10年輪目あたりから明らかな交錯木理が認められた。また、S旋回ないしはZ旋回の繊維傾斜度は、数年輪ごとに年輪界付近でピークに達し、その後樹幹軸に平行な方向へ向かって減少し始めた。しかし、その周期性に髓からの距離ないしは年輪数の明らかな関与を見出すことはできなかった。

師部から木部に向かって接線面における繊維傾斜度を連続的に測定した結果、師部にも交錯木理様のものが形成されていた。また、形成層帯細胞の繊維傾斜度は供試木間で異なったが、いずれの供試木でも形成層帯細胞とそれに近接している師部細胞および木部細胞はほぼ同じ繊維傾斜度を示した。このことは、形成層帯細胞の配向方向と接線面分裂後の新生細胞の伸長方向が一致していることを示し、交錯木理が形成される理由は、形成層始原細胞が周期的にS旋回とZ旋回を繰り返して配向するためと推測された。

キーワード：交錯木理，繊維傾斜度，S旋回，Z旋回，クスノキ

* ODA, K., OISHI, M., OGATA, S. and MATSUMURA, J.: Formation and Significance of Interlocked Grain in *Cinnamomum camphora* I: Appearance of Interlocked Grain.

** 九州大学大学院農学研究院森林資源科学部門

Division of Forest and Forest Products Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-8581

*** 現在 御殿場市役所

Gotenba City Office, Shizuoka 412-0042

**** 九州大学大学院生物資源環境学府森林資源科学専攻

Department of Forest and Forest Products Sciences, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, Fukuoka 812-8581

1. はじめに

交錯木理は、主に熱帯産広葉樹に見られ、国産のものではクスノキ科の樹種などに形成される。交錯木理は、樹幹軸に対して軸方向構成要素が樹皮側から見て左上から右下に傾くS旋回と右上から左下に傾くZ旋回を周期的に繰り返して形成され、結果として逆方向に交互に傾斜した軸方向構成要素の層が積み重なったものである。このため、交錯木理は、乾燥に際してはねじれやすく、鉋削に当たっては逆目ほれを起こしやすいなど、木材利用上の欠点となっている。

このような背景から、木材の基礎的な性質を把握し有効利用を図る目的で、これまで熱帯産広葉樹を中心に、樹幹内における交錯木理の現れ方やその度合が調べられてきた（木材部・林産化学部、1973・1974；未利用樹種研究班、1977・1978）。さらには、近年東南アジア等で拡大造林されている早生樹について、付加価値の高い林分を造成するために林木育種的な観点から交錯木理を測定した研究も報告されている（藤本ら、1999）。これらの結果から、樹心から樹皮にいたる繊維傾斜度の変動パターンや繊維傾斜の大きさには、成長速度や樹齢のほかに遺伝的な要因が強く関与すると推測されている。しかし、交錯木理が形成されるしくみやその意義に関する研究は皆無と言ってよく、どのように交錯木理が形成され、どのような役割を果たしているのか明らかではない。

そこで、交錯木理が形成されるしくみとその意義を解明しようとして、一連の研究を進めている。ここでは、交錯木理の形成機構を明らかにする研究の一環として、年輪界が明瞭なクスノキを用いて、まず、樹幹横断面内における交錯木理の出現状況、すなわち交錯木理の周期性、繊維傾斜の大きさ、繊維傾斜度がピークに達する部位（位置）などを観察した。次に、軸方向構成要素がS旋回ないしはZ旋回する理由を明らかにするために、樹幹胸高付近から師部と木部を含む試料を採取し、連続的に接線面切片をつくり、師部、形成層および木部の繊維傾斜度を測定した。

2. 実験方法

2.1. 実験1

実験1は、樹幹横断面内における交錯木理の現れ方やその大きさを調べる目的で行った。5年生から60年生のクスノキ10個体の樹幹から長さ20～30cmの丸太を採取した。このうち、55～60年生の3本（No.1～3）の供試木から得た丸太については、髄を含む厚さ2～3cmのまさ目板に製材し、さらに樹幹軸方向に長さが2～3cmの棒状試験片にした。ついで、割裂法により髄から樹皮に向かって1年輪ごとに晩材部から切片を切り出し、万能投影機で拡大し道管を指標として繊維傾斜度（樹幹軸と道管軸のなす角度）を測定し、繊維傾斜度の放射方向変動を検討した。残り7本の供試木から得た丸太については、縦方向に割裂し、交錯木理の出現状況を観察した。

2.2. 実験2

交錯木理は形成層活動によって形成されるため、木部細胞が樹幹軸から周期的に傾斜する理由は、(1) 紡錘形始原細胞そのものがS旋回とZ旋回を周期的に繰り返している、(2)

紡錘形始原細胞は樹幹軸に平行に配向しているものの、接線面分裂後の新生木部細胞がS旋回とZ旋回を周期的に繰り返して伸長している、のどちらかのためと考えられる。仮に、(1)の場合であれば、軸方向の師部細胞もS旋回とZ旋回を周期的に繰り返すことになり、師部にも交錯木理様のものが形成されることになろう。実験2は、この点を確認するために行った。

1999年3月29日に九州大学農学部キャンパス、同年7月30日に九州大学農学部附属演習林福岡演習林、同年11月16日同演習林で試料を採取し、それぞれ3個体(No.11~13, No.14~16, No.17~19)から1個ずつの試料を取り出した。すなわち、胸高直径が20~30cmのクスノキを対象に、胸高付近で外樹皮を削り取り、形成層にできるだけ物理的な力が加わらないように、かつ樹幹軸と試料軸が一致するように注意しながら、内樹皮、形成層および木部を含む横断面が7mm×7mm、長さが10mmの大きさのブロックを切り出した。このブロックを試料とし、試料を直ちに固定液(FAA)に浸漬し研究室に持ち帰った後、脱水しパラフィンで包埋した。その後、樹皮から木部へ6mmの範囲について、0.1mmないしは0.2mm間隔で厚さ10 μ mの接線面切片をつくり、永久プレパラートにした。万能投影機を用いてそれぞれのプレパラートの繊維傾斜度を測定した。

3. 結果と考察

3.1. 交錯木理の出現状況

実験1に使用した棒状試験片の一部を髄から樹皮にいたる直線で縦方向に割裂し、試験片の裏面における割裂面の状況を図1に示した。また、図2に、実験1で測定した3個体の繊維傾斜度の放射方向変動を示した。図2では縦軸に繊維傾斜度、横軸に髄からの年輪数をプロットし、縦軸の正側がZ旋回、負側がS旋回である。すなわち、図1と図2からわかるように、軸方向構成要素は、髄付近の数年輪では樹幹軸にほぼ平行に配向しているが、髄から離れるにつれて樹幹軸に対して斜めに配向し始め、S旋回とZ旋回を交互に繰り返して、交錯木理を形成していた。また、図2には示していないが、樹幹横断面(棒状試験片)を樹皮から髄をとおり樹皮にいたる直線で縦方向に割裂したとき、髄を起点に2つの

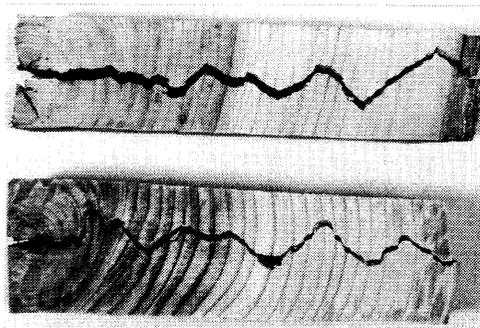


Fig.1 Interlocked in *Cinnamomum camphora*(No.1).

図1 クスノキの交錯木理 (No.1)

放射方向の割裂面から得られた繊維傾斜度の変動パターンは樹幹横断面では髓に対してほぼ点対称を示した。

図1と図2の結果が他の供試木にも当てはまるか否かを検討するために、残り7個体の丸太から切り出した円板を髓を含む面で縦方向に割裂した。円板の裏面で交錯木理の出現状況を観察すると、図1と同様に髓付近では交錯木理が存在してもその程度は小さく、明らかに交錯木理と認められるようになる部位は髓から3~10年輪目からであった。このことから、クスノキではある程度樹齢が経過したのち交錯木理が顕在化すること、顕在化する年輪数は個体間で異なることがわかった。なお、旋回木理を形成するカラマツでは樹心部はすべてS旋回と報告されている(久保ら, 1994)。クスノキでは交錯木理がS旋回と

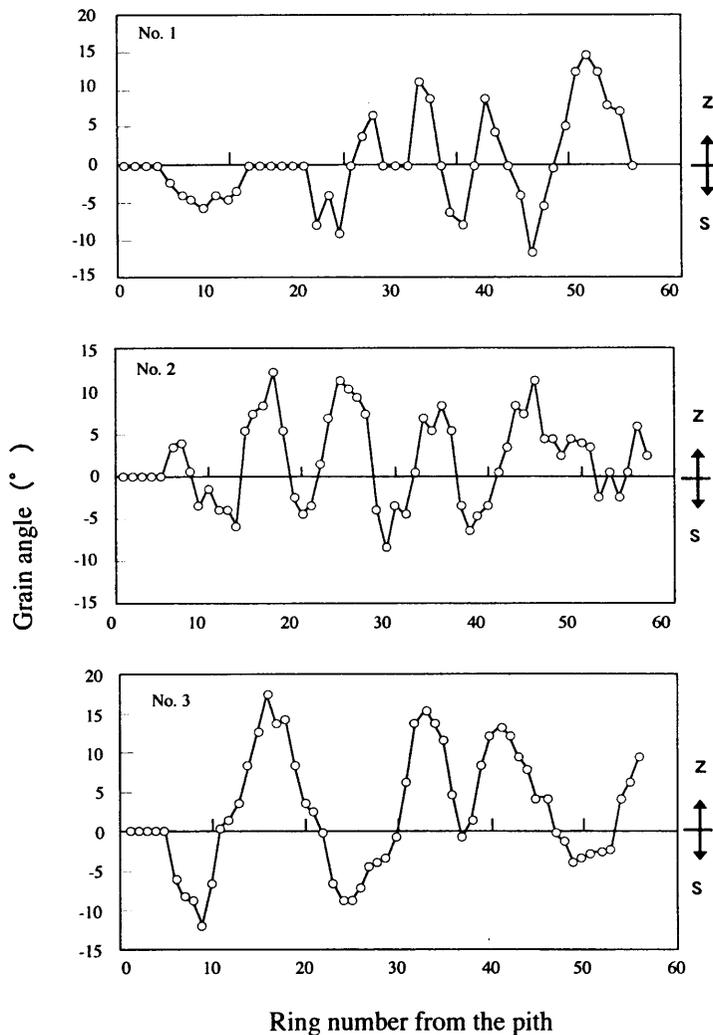


Fig. 2 Variation of grain angle in the radial direction of *Cinnamomum camphara* stems.

図2 クスノキにおける繊維傾斜度の樹幹放射方向変動

Z 旋回のどちらから始まるのかは、髄付近の繊維傾斜度が小さかったのでその開始方向は明らかにできなかった。また、いずれの円板でも裏面における繊維傾斜度の放射方向変動パターンは髄をはさんでほぼ点対称を示した。

ところで、肥大成長が良好で広い年輪幅を持つ供試木（図 2 の No.1, 平均年輪幅 2.8mm）では繊維傾斜度の変動パターンにおけるピークとピークの間隔が広く、逆に成長が良好でなく狭い年輪幅を持つ供試木（No.2, 平均年輪幅 1.7mm）ではその間隔が狭かった。このことから、交錯木理の周期性には髄からの距離は関係していないと判断された。そこで、図 2 には横軸に髄からの年輪数を取り変動パターンを示した。しかし、No.1 と No.2 では 3~6 年輪ごとに、No.3（平均年輪幅 2.2mm）では 6~8 年輪ごとに S 旋回と Z 旋回を繰り返しており、髄からの年輪数も交錯木理の周期性に直接関係しているとは考えられなかった。つまり、交錯木理は周期的に S 旋回と Z 旋回を繰り返すものの、明確な規則性は見出すことができなかった。なお、クスノキの最大繊維傾斜度は 10~15 度で、供試木間に大差は認められなかった。

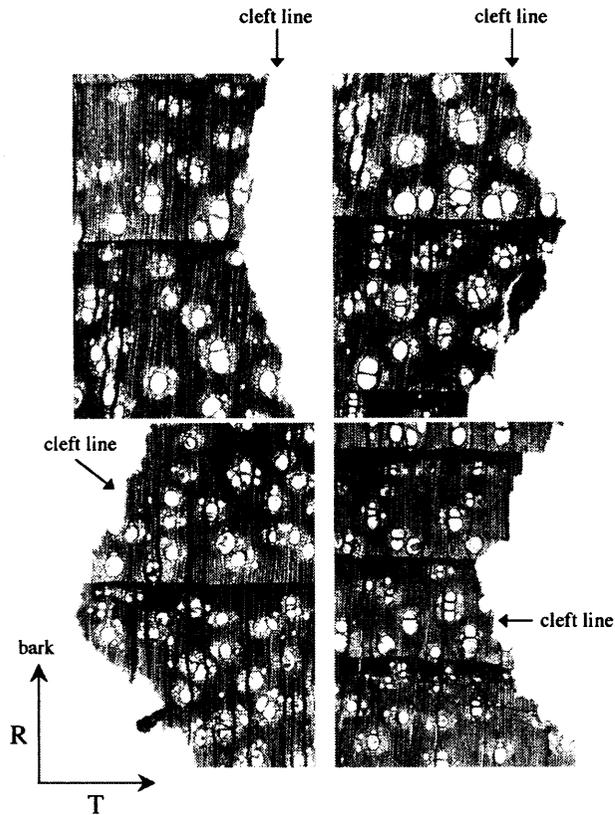


Fig. 3 Cross section near the peak of grain angle.

R:radial direction, T:tangential derection

図3 繊維傾斜度のピーク付近の横断面

R:半径方向, T:接線方向

熱帯産広葉樹における繊維傾斜度の髓から樹皮にいたる変動パターンには、1) 樹心から樹皮まで変動の波形、振幅がほぼ同じ傾向を示すタイプ、2) 相対距離で樹心から約50%までは、繊維傾斜度が大きく、それ以降は多少とも小さくなるタイプ、3) 逆に樹皮に近くなるにつれて繊維傾斜度が次第に大きくなるタイプ、4) これらの区分のいずれにも属さないタイプが存在する(未利用樹種研究班, 1978)と報告されている。この分類に従えば、クスノキは1) と3) の中間のタイプに属することになる。

図1によると、数年輪ごとにS旋回ないしはZ旋回で繊維傾斜度がピークを示す位置は年輪界付近のように見える。そこで、図1を拡大して観察するために、割裂した棒状試験片の裏面から、繊維傾斜度がピークを示す付近の横断面プレパラートを作製し、図3にその例を示した。図(写真)の下方が髓側、上方が樹皮側であり、上2図では右側が、下左図では左側が、下右図では右側が割裂面である。一方、繊維傾斜度がピークを示す付近の年輪を細かく分割し接線面切片を作製し、繊維傾斜度の放射方向変動を測定した。図4には、その測定例を示した。すなわち、図3および図4は、髓側から樹皮側に向かってS旋回ないしはZ旋回によって繊維傾斜度が増大し、ピークに達する位置が年輪界付近であることを示している。このことは特徴的であり、形成層が休眠を経験することによって繊維傾斜度が樹幹軸に平行な方向に向かって減少し始めると考えることもできる。しかし、そ

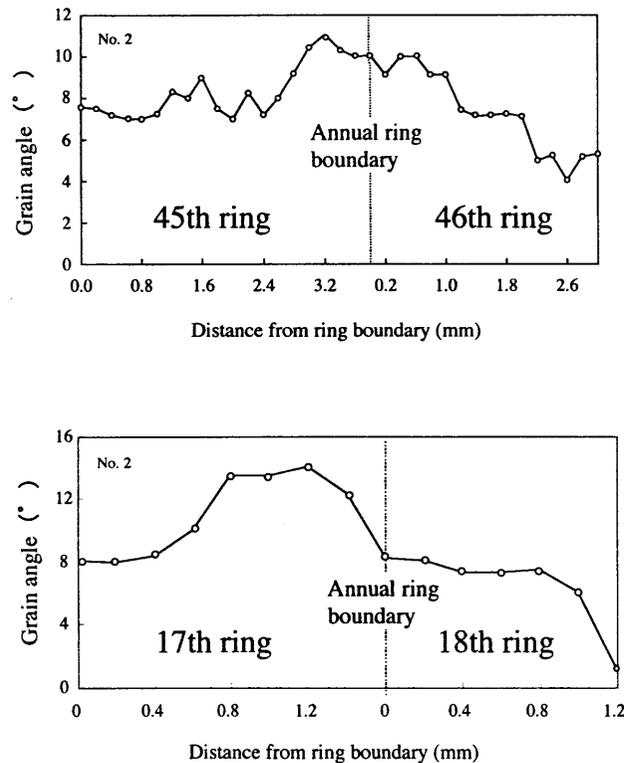


Fig. 4 Variation of grain angle near the ring with a peak angle.

図4 繊維傾斜度のピークを持つ年輪付近における傾斜角の変動

の生理学的な意味は不明であり、この点については、今後検討する必要がある。なお、図3と図4とでは繊維傾斜度がピークに達する位置にずれがあるように見える。どちらが正しいのかは断定できないが、図4の繊維傾斜度には測定誤差があることは確かである。

3.2. 形成層始原細胞の配向

図5に実験2の結果を示した。図中の矢印が形成層帯の位置、その左側が師部、右側が木部である。また、No.11~13は九州大学キャンパスで、No.14~19は福岡演習林から採取した試料である。

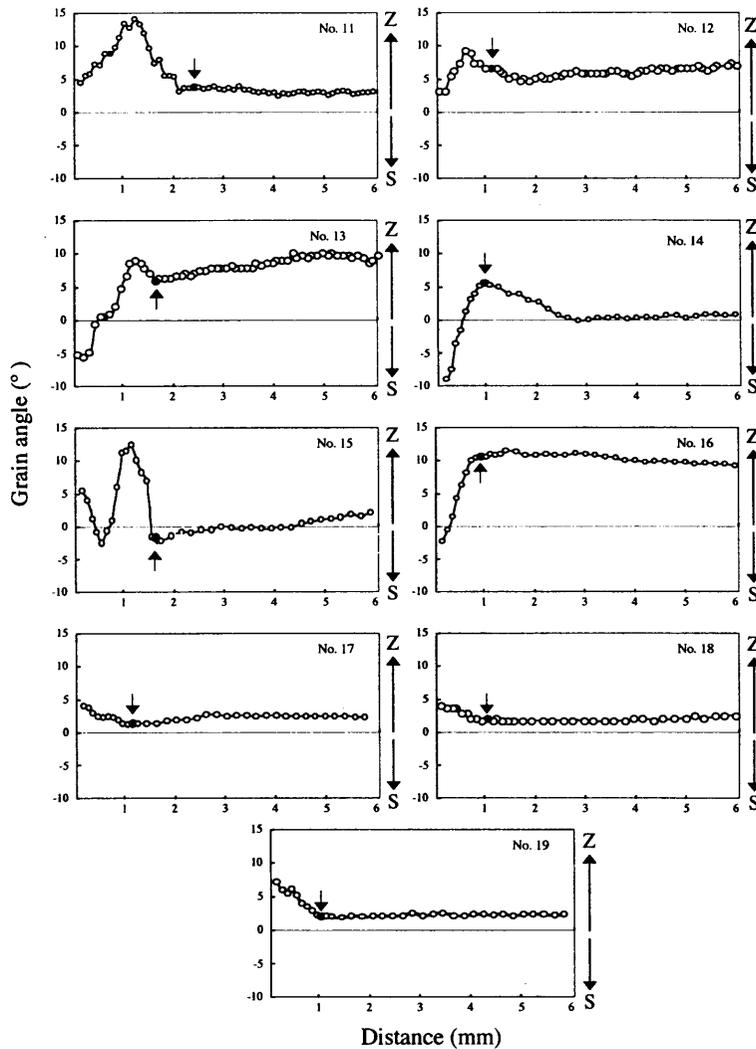


Fig. 5 Variation of grain angle near the cambial zone. Arrows show the cambial zone and left sides of arrows are the phloem.

図5 形成層付近の繊維傾斜度の変動 (矢印：形成層帯，矢印の左側が師部)

図5に示したように、木部における繊維傾斜度の変動はどの供試木でも小さいが、師部では繊維傾斜度がZ旋回側で上に凸を描いて変化しているもの(No.11, 12), S旋回からZ旋回へ変化しているもの(No.13, 14, 16), Z旋回とS旋回を交互に繰り返しているもの(No.15), Z旋回側で減少しているもの(No.17~19)が観察され、師部にも交錯木理様のものが形成されることがわかった。また、形成層帯では軸方向細胞が樹幹軸にほぼ平行なもの(例えばNo.17~19)やZ旋回側で樹幹軸から6~12度傾いているもの(No.12, 16など)がみられ、形成層帯の繊維傾斜度は供試木によって異なった。さらに、形成層帯細胞とそれに近接する師部細胞および木部細胞は、ほぼ同じ値の繊維傾斜度を示していることから、形成層帯細胞の配向方向と接線面分裂後の新生細胞の伸長方向は、一致していると推測された。

これらの結果を総合すると、交錯木理が形成される理由は、形成層始原細胞そのものが周期的にS旋回とZ旋回を繰り返して配向するためと考えられる。しかし、形成層始原細胞がS旋回とZ旋回を繰り返して配向する原因についてはわからない。今後、木部細胞の配向に関与するとされるオーキシンの流れや偽横分裂の様式とも関連づけて検討する予定である。

ところで、針葉樹や広葉樹の樹幹では同一年に形成される木部と師部の幅は、木部が師部よりもはるかに広いことが知られている。その比について、Bannan(1955)はニオイヒバでは15:1, Kutchara(1975)はバルサムファーの正常材部では14:1, 圧縮あて材部では21:1であったと報告している。クスノキにおける木部と師部の比はわからないが、これらの樹種と同様に師部よりも木部がはるかに多く形成されると推測される。つまり、図5で木部の繊維傾斜度の変動が小さいのは、師部に比べても木部が多量に形成されるにもかかわらず、4~5mmの範囲しか測定してないためと考えられる。さらに広い範囲で木部の繊維傾斜度を測定するならば、同一試料内での師部と木部の繊維傾斜度は、形成層をささんで左右対称の変動パターンを示すものと推測される。

4. 結 論

交錯木理が形成されるしくみを解明する研究の一環として、クスノキにおける交錯木理の現れ方やその大きさ、および形成理由を検討した。得られた結果の概要は次のとおりである。

- 1) 軸方向構成要素は、樹心部では樹幹軸にほぼ通直であったが、樹心から遠ざかるにつれて樹幹軸に対して斜めに傾き始め、S旋回とZ旋回を周期的に繰り返すようになった。すなわち、樹心部では交錯木理が存在していてもその度合は小さいので、交錯木理形成の明確な開始時期や開始方向は不明であったが、交錯木理は髄から3~10年輪目以降で顕著になった。
- 2) S旋回ないしはZ旋回の繊維傾斜度は、数年輪おきに年輪界付近でピークに達し、その後樹幹軸に平行方向に向かって減少し始めた。その周期性をピーク間の距離および年輪数と関連づけて検討したが、周期の規則性はないか存在しても見出すことができなかった。なお、クスノキの最大繊維傾斜度は10~15度を示し、供試木間に大差は認められなかった。

- 3) 師部にも木部と同様にS旋回ないしはZ旋回の繊維傾斜が認められ、交錯木理様のものが形成されていた。また、形成層帯細胞の繊維傾斜度は供試木間で異なったが、形成層帯細胞とそれに近接する師部細胞および木部細胞はすべての供試木でほぼ同じ繊維傾斜度を示し、形成層帯細胞の配向方向と新生細胞の伸長方向は一致していた。これらのことから、交錯木理が形成される理由は、形成層始原細胞そのものがS旋回とZ旋回を交互に繰り返して配向するためと推測される。
- 4) 交錯木理が形成されるしくみを解明するには、今後、形成層始原細胞が周期的にS旋回とZ旋回を繰り返す原因を明らかにしていく必要がある。また同時に、樹木にとっての交錯木理の意義あるいは役割を検討すべきであろう。

引用文献

- BANNAN, M. W. (1955) : The vascular cambium and radial growth in *Thuja occidentalis* L., Can. J. Bot. 33(1) : 113-138
- 藤本高明・鈴木昌樹・阿久津久・瀧澤忠昭 (1999) : アカシア属造林木の基礎性質. 第49回日本木材学会大会研究発表要旨集 : p 522
- 久保隆文・森田 司・伏谷賢美 (1994) : カラマツにおけるらせん木理の出現性 林地および肥大成長との関連性. 東農工大演報32 : 31-38
- KUTCHA, N. P., HYLAND, F. and SCHWARMANN, J. M. (1975) : Certain seasonal changes in balsam fir cambium and its derivatives. Wood Science and Technology 9 : 175-188
- 未利用樹種研究班 (1977) : パプアニューギニア材の加工的性質 (第3報), 東ニューブリテン産材の基礎的性質. 林試研報294 : 1-49
- 未利用樹種研究班 (1978) : パプアニューギニア材の加工的性質 (第6報), 西ニューブリテン産材の材質, 物理的性質および耐腐性. 林試研報299 : 23-84
- 木材部・林産化学部 (1973) : 南洋材の性質18 サラワク, ニューギニア産8樹種の性質. 林試研報254 : 55-169
- 木材部・林産化学部 (1974) : 南洋材の性質19 カリマンタン, ニューギニア産10樹種の性質. 林試研報262 : 59-163

(2000年7月26日受付; 2000年10月20日受理)

Summary

Interlocked grain is mainly formed in tropical broadleaved trees and also formed in Lauraceae species in the temperate regions. In this study, variations of grain angle in the radial direction of *Cinnamomum camphora* stems showing clear annual ring boundary were investigated. The results obtained were summarized as follows:

Axial elements arranged in approximately parallel to the stem axis in the region near the pith, but began to be sloped against the stem axis with increasing annual ring numbers from the pith, and then alternately repeated S-helix and Z-helix (Figs. 1 and 2). As interlocked grain was not recognized or was shallow in the region near the pith, the annual ring and the slope direction in

that formation of interlocked grain initiated were obscured. The annual ring having clear interlocked grain was over third to tenth ring from the pith.

The slope of grain in the S-helix or Z-helix reached to the peak in the vicinity of annual ring boundary at intervals of several years, and began to turn to the opposite direction (Figs. 1 and 3). There was no significant relation between intervals from the peak to the next peak of grain angle and the distance or the ring numbers.

Variation patterns of grain angle from bark to wood near the cambial zone were obtained (Fig. 4). It was clarified that 1) interlocked grain-like-one formed in the bark, 2) the grain angle in the cambial zone was different among sample trees, and 3) it was almost the same value as in the phloem cells and xylem cells adjacent to the cambium. This means that the slope direction of cambial cells corresponds to the elongation direction of newly formed phloem and xylem cells. Therefore, the reason for the formation of interlocked grain was that the cambial cells periodically repeated S-helix and Z-helix.

Key words : Interlocked grain, grain angle, S-helix, Z-helix, *Cinnamomum camphora*