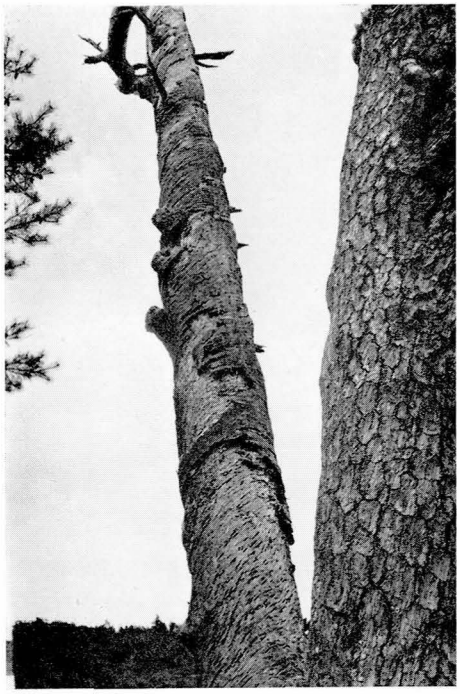
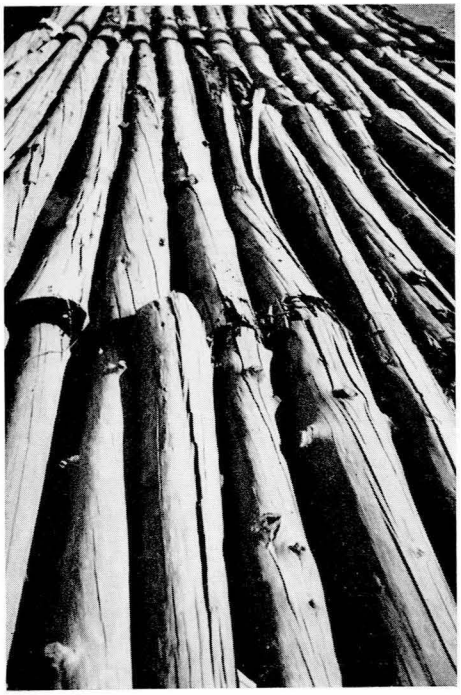
Phot. 1



Phot. 2



(Frontispiece)

回旋生長の原因について

大　倉　精　二

目　　次

I　緒言及び定義……2
II　回旋生長の原因にかんする従来の諸説……5
III　微視螺旋構造における左右関係……10
A　原繊維ねじれ角の横断的変化……11
1　柾目面の光学顕微鏡による測定……11
2　板目面のX線による測定……14
i）ラウエ写真による概観……14
ii）X線デフラクトメーターによる計測……18
B　第2次膜中層（S_2）の二方向性……20
1　光学顕微鏡による検鏡結果……21
2　電子顕微鏡による検鏡結果……21
3　スンプ法による左右関係……23
C　総　　括……27
IV　正常回旋材の乾燥ねじれ……35
A　1952年の実験……36
1　材料及び実験方法……36
2　測定の結果……38
B　1953年の実験……42
1　材料及び実験方法……42
2　測定の結果……42
C　1957年の実験……43
1　材料及び実験方法……43
2　測定の結果……47
D　1958年の実験……49
1　材料及び実験方法……49
2　測定の結果……51
E　総　　括……55
V　考　　察……56
VI　結　　言……59

I 緒言及び定義

さきに発表した“樹幹における繊維回旋の現われ方”[1)2)3)]などで筆者は次のことを見た。

(1) 樹幹の繊維回旋の現われ方は，ある樹種については回旋の方向が少くとも若い間には原則的に決つている。すなわち左旋（S回旋）樹種と右旋（Z回旋）樹種とがある。

(2) 樹軸に対する繊維ねじれ角は壮令時同一断面において遠心的に増加，後漸減するという経過をとるが，その最大値は向頂的に増加，後漸減，その位置は遠心的に移動する。

(3) その後回旋方向の変換，すなわち“ねじれかえし”が起るが，樹令と共に樹幹の基部から現われ始め向頂的に進むらしい。

(4) “ねじれかえし”は樹種により1回以上起りうる。

(5) (2)及び(3)乃至(4)の現象が起こる樹令の範囲は樹種及び条件により異なるものらしい。

(6) S回旋及びZ回旋が樹幹に現われる形式は全く対称的で，単に方向が相反するにすぎない。

次に筆者の行つた回旋型の分類のうち最も普通なものを記する。

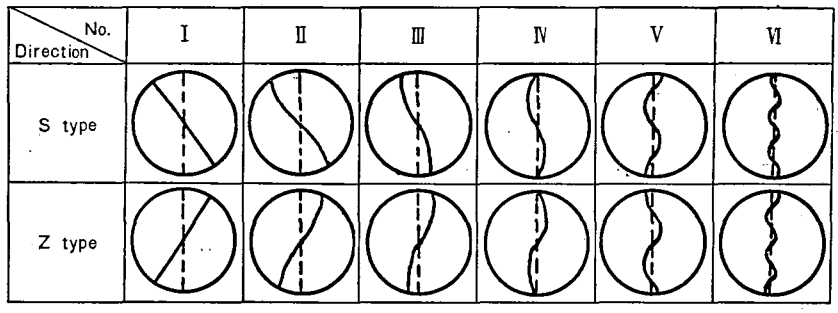


Fig. 1 The classification of types of twist.
(standard types of splitting curve)

(7) 伐採面 xm における回旋状況をあらわすのに，S又はZN $(\alpha, \beta, \cdots, \omega)_x$ であらわす。例えば幼型配向Sであつて伐採高2mにおける割裂曲線から次のことが判つたとする。年輪30個で“ねじれかえし”があり，次に年輪10個を数えたとすると，S IV $(30, 10)_{2.0}$ である。

(8) S回旋樹種とZ回旋樹種は，針葉樹では地球上北方から南方に進むにつれて後者が増す傾向があり，南北両半球で著しい対照がある。広葉樹は概ねZ回旋であるが，例外も少くない。

これらに加えるに Fig. 17 に示した“ねじれかえし”材の繊維配向を加えれば巨視的現象としての樹幹の ねじれ 現象をほぼ尽したものと思う。

このような知見に達する道程において，筆者は回旋性と左右性とは分けて考察すべき

ものとし，繊維回旋の2元説を強調した。つまり

(1) 繊維が樹軸に対して斜めに走り，螺旋状を呈すること，

(2) その方向が左右いずれになるか，

とは別個の問題である。この二つの事実のうち(1)に比すれば(2)は動揺しやすい性質と考えたのである。今回はこのことについて少しく進んだ見解を明らかにすることが出来た。

従来回旋木理は異常組織の一つで，材質上の欠点と目されて来た。しかし経験的に木材繊維が樹軸に平行な場合よりも斜めな場合の方が原則的であることはすでに GAYER 及び FABRICIUS が指摘している。[4] 又回旋材か通直材かの判定基準は用途が異なるにつれて一定しない。3°, 5°, 7°，或いは 10° である。 3° 程度の繊維ねじれ角は少くとも樹幹のある部位において，カラマツ材は勿論ほとんど凡てのアカマツ材が示す。同様の経験を *Pinus sylvestris* について R. D. PRESTON も書いている。[13] この程度の回旋生長は樹木の正常な状態でもつねに起り得る。繊維回旋が多少とも認められる材が凡て正常でない生長をしたとは言えない。山科らによれば正常な状態下で樹液が螺旋状に流動するという。[5][6][7] 一方 CHAMPION の Plate II の如き極端な例がある。[8]

ねじれ角 45° 以上の回旋木と 3°～4° というような場合とは同じ範疇に入れるべきでなかろう。このことは以前にも触れておいたが，[1] 必らずしも新らしい考え方ではなく，筆者未見の文献によれば，[9] R. HARTIG は個性的な回旋と獲得された回旋とを分けて考えねばならぬかも知れぬ，と云つている由であるし，H. BURGER も自分たちの用いる樹幹の回旋生長の意味は内部的原因によつて発生し，繊維方向が斜めに向いたもので，外力に原因するねじれとはことなる，[10] と云つている。樹体の繊維が樹軸方向に配列しているのを正常と見なしたのは恐らく人類中心主義的な誤解ではあるまいか。M. CHATTAWAY によれば，NORTHCOTT は1957に回旋木理は正常な生長の状態で，林業家や利用者の考える様に異常ではないと云つている由である。[11] かかる考えは漸次有力化しつつある。繊維回旋の研究は自から，

(1) 正常回旋 Normal twist (Frontispiece, Phot. 2)

(2) 異常回旋 Abnormal twist (〃 , Phot. 1)

とに分かれるべきものであろう。正常回旋の特殊な場合を

(3) 通直 Zero twist (Frontispiece, Phot. 2 手前左から3本目に見える)

と考えることが出来る。前掲 BURGER はねじれ角±1° を通直，±3° 以上を回旋材とし明らかに正常回旋を取扱つた。CHAMPION がこの現象を遺伝的と結論しようとしたとき，回旋状況を定義するに次のようであつた。s (Straight) 0～5°, ½(Slight)5°～15°/10°, t (Twisted) 15°～25°/20°, 2t (Storongly twisted) over 25°。[8] 彼の場合はむしろ異常回旋を対象としたものであろう。しかし異常回旋材の解剖学的特徴がはつきりしない今日，この両者の区別は簡単なものでない。BURGER もこの点微妙な言い廻しをしている。[10] しかし問題のとり上げ方としては両者の峻別が必要と思う。前の論文[1]でもそうであつたように，この論文でも筆者は正常回旋を取扱つた。回旋生長を異常組織としてでなく，生長論的な取扱い方をしている R. D. PRESTON らの行き方でもある。[12][13][14]

回旋生長に関連して記述上まぎらわしい二三の点がまだある。その一つは左旋，右旋

の問題で以前詳しく述べた[1]。樹幹に向つて観察者の右下から左上の方向にのぼる回旋を左旋としS回旋で現わし，その反対を右旋としZ回旋で現わす，という定義である。BURGER, HARTIG, CHAMPION, MÜNCH, MISRA らと同じである。

次に"ねじれかえし" Umdrehung である。つまり冒頭にあげた(3)及び(4)の性質で，樹令が進むにつれて繊維方向が変換，逆転する現象である。"ねじれかえし"にさいし繊維の配向は一度通直な位置をとるものであるから，外見通直を示す樹幹は樹心から外周に向つてつねに通直であるとはかぎらない。かかる材には最も少くて二つの場合がある。今幼令時に示す回旋方向を幼型配向 Infant or primary orientation of spiral growth と呼び，後年"ねじれかえし"後の方向を成型配向 Adult or secondary orientation of spiral growth と呼ぶことにする。(4)の性質によりこれらの配向は1回以上現われる。

S回旋樹種は原則として幼型配向S，成型配向Z，Z回旋樹種は原則として，幼型配向Z，成型配向Sである。通直材をこの意味から分けると三つ以上の場合があることになる。

後述するように正常回旋と細胞膜の原繊維の配向とは何らかの関係があると思われる。混乱を避けるために両者を次のように区別しておきたい。すなわち構成繊維が樹軸に対してとる螺旋構造を巨視螺旋構造 Macrospiral construction in tree trunk, 細胞膜において原繊維が細胞の長軸に対してとる螺旋構造を微視螺旋構造 Microspiral construction of cell wall と呼び，繊維が樹軸に対する傾角をねじれ角 Angle cf twist と呼ぶに対し，原繊維の細胞の長軸に対する傾角を原繊維ねじれ角 Fibrillar angle of twist と呼ぶことにする。WARDROP らは後者を Micellar spiral angle と呼んでいる[15]。

主な研究対象としてはカラマツ *Larix Kaempferi* Sarg. を用いた。第1に邦産針葉樹として巨視螺旋構造がつねに顕著なこと，第2に本学として従来からの関心樹種であるからである。

1951年以来変らざる指導を賜つた京大梶田茂，貴島恒夫両教授，電子顕微鏡並びにX線回折に関し技術的援助並びに判読に関する助言を吝まれなかつた農林省林業試験場原田浩，宮崎幸男両技官，本学繊維学部呉祐吉教授，沢路雅夫講師に深い感謝の意を表する。呉教授はこの問題に深い関心を寄せられつねに新しい示唆を与えられ，且重要な文献を贈与された。文献については尚前記貴島教授，原田博士並びにスイス，インド各林業試験場，U.S.A. 林産研究所などの好意をも併記せねばならぬ。その外本学森林利用学教室鳥山清美助教授，小沢勝治氏の献身的協力を忘れられない。なお実験のさい計測に当つた学生諸君については各々その項に記しておいたが，併せて謝意を表する。

文　　献

1) 大倉精二；信州大学農学部紀要，8, (1958), P. 59～100.
2) 大倉精二，鳥山清美；信大農学部学術報告，1, (1952), P. 28～35.
3) 大倉精二；64回日本林学会講演集，(1955), P. 298.
4) GAYER-FABRICIUS; Forstbenutzung, (1935), P. 111.

5) VITÈ, J. P. ; Forstwiss. Centrbl., 77, (1958), P. 193～203.
6) 山科健二 ; 68回日本林学会講演集, (1958), P. 162～163.
7) 山科健二 ; 日林誌, 40, (1958), P. 517～518.
8) CHAMPION, H. G. ; Indian Forest Records, II, XI, P. 46.
9) CHAMPION によれば Allg. Ency. d. Ges. Forst. u. Jargdwiss., III, (1888) にありという。
10) BURGER, H. ; Mitt. d. Schweiz. Anst. f. d. Forst. Versuch., 177, 29, (1953), P. 2.
11) CHATTAWAY, M. ; C. S. I. R. O. Forest Products Newsletter, 3, 250, (1959).
12) PRESTON, R. D. ; Bioch. et Biophy. Acta, 2, (1948), P. 155～165.
13) Do. ; Foresty, 23, (1949), P. 48～55.
14) Do. ; The Molecular Architecture of Plant Cell Wall, (1952), P. 113～151.
15) WARDROP, A. B. ; Austral. Jour. of Scien. Reas., B, Biol. Scien., 4, 4, (1951), P. 391～414.

II 回旋生長の原因にかんする従来の諸説[1)]

ヨーロッパ各地に回旋木理の原因を風及び陽光に帰そうとする俗信があり，我が国にもあることは以前に述べた。[2)] 我々もまたしばしば野外とくに風衝地，岩石地，尾根筋などの樹木に現われた回旋木理を見かける。そこで P. BAUMERT[3)] は陽光によつて均整を失つた樹冠が主風たる西風の影響をうけると樹幹が一定方向にねじれると言う。又H. MAYR は乾燥地，南斜面，岩石地では凡ての樹種はねじれやすいと言い，[4)] 金井もヒバのねじれに傾斜が関係すると言う。[5)] 遺伝説をとる CHAMPION はこれらに類する諸家の説を詳しく引用し，[6)] そのなかで HEARLE が *Pinus longifolia* の樹幹のねじれがやせた土壌，低い標高，不利な方位と結びつくらしいと言つていると述べ，又地域により，母岩によりねじれの出現状況がちがうこと，部落に近い林地には回旋木が多いという説をあげた。しかし回旋生長を外因に帰そうとするこのような考え方は，冒頭に掲げた樹木の巨視螺旋構造の経緯を説明することが出来ず，少くとも正常回旋の場合にはあてはまらない。むしろこれらの野外における観察は異常回旋の誘因をしらべる出発点と見るべきであろう。[10)]

なぜ繊維が樹軸に対して傾くか。その生理学的機構に関して先駆者 A. BRAUN がどんな説であつたかについては間接的にしかわからない。CHAMPION の引用によれば，固定した長さの軸の上の繊維が軸方向に伸長しようとするために起るとし，*Aesculus* の形成層細胞が分裂のさいに細胞長が少くとも50%伸長し，その尖つた先端が上下の方向に隣接細胞の間にはいり込んで行くことを見て満足したという。[6)] つまり回旋生長は中心に対し周辺部分の生長が早い場合に起る螺旋構造によると考えたらしい。

R. HARTIG の所説は注目を要する。彼は *Kiefer* 及び *Lärche* について仮導管長，年輪巾，ねじれ角，仮導管の上下の隔壁の傾斜方向を測り，

(1) *Kiefer* がすべて幼令時に左旋し，

(2) 後"ねじれかえし"が起る樹令には遅速があつて一定でなく，又樹幹の部位に応じ

て変異がある，と言つた[7]。つまり冒頭に述べた回旋生長の現われ方は *Kiefer* に関して当時としては或る程度見るべきものを見ている。彼はかくして回旋生長の素因を形成層細胞の辷り生長に求めたのであるが，そのさいになお隔壁の傾斜方向を異にする2種の導管を認める。それを方向相反する辷り生長の結果とし，それらの釣り合いの方向に繊維仮回旋が起るのだとした。詳しく述べると，繊維の幼型配向S回旋の *Kiefer* は分裂時の2娘細胞の隔壁は左を上に右を下に方向づけられているのが多い。かかる傾斜の場合を HARTIG は L とし，反対をRで現わす。6本の *Kiefer* 中年輪10のとき L：R＝31：19（ねじれ角L方向－S方向－2°）であつたもの，同じ年輪数のとき7：5（ねじれ角L方向－S方向－4°）であつたものを指摘した。通直の場合はLとRとは等しい割合になるという。しかし CHAMPION も言つているように[6]，隔壁の傾斜方向は仮導管の先端の伸長が著しいから，実際上いずれの方向に傾いているか弁別し難い。HARTIG は進んで極端な回旋材，つまり異常回旋の場合には普通放射方向にのみ存在する仮導管側壁の重紋孔が切線方向にも在存し，樹液の流動が支障なく行われると言い，正常回旋と異常回旋では組織に変化があることを暗示している。

ところで CHAMPION であるが，彼も辷り生長が回旋生長の原因になることを否定してはいない。しかし彼はそれでは3°以上の場合の説明に適せぬから，せいぜい部分的の説明にしかならない。早い研究者は恐らくは極端な回旋の例を知らなかつたのであろうし，又形成層細胞自身がつよく傾くことも理解していなかつたからであろう，又"ねじれかえし"についても理解していなかつたからであろうと云つている。そこで CHAMPION は生物界に遍在する螺旋構造特に樹木繊維の螺旋紋，条痕などの例をあげ，なぜ活きた原形質が螺旋構造をもつ細胞膜をつくり出さねばならぬかという問を発する。この疑問は現在でも容易に答えられない問題である。彼は辷り生長と微視螺旋構造とは一応直接関係のないものとして取扱つているようである。いずれにせよ，彼は原形質の流れに注目し，当時の植物学者が見た水生植物などの原形質運動の文献を引用し "twist" の代りに "streaming" を用いたくなるとまで言う。"ねじれかえし"については，この流れが何らかの刺戟により変り得ることを予想して *Pinus longifolia* の仮導管の条痕をしらべ，Z回旋（巨視螺旋）の材料につきZ方向の条痕18に対しS方向4，S回旋（巨視螺旋）の材料につきS方向6に対しZ方向1を得たと言つている[6]。

W. SEIFRIZ は種々の回旋現象は単一の原因に帰するわけに行かない，樹幹の回旋と棉毛や靱皮繊維のそれとでは原因がちがう，樹幹の場合は辷り生長で説明がつく，しかし回旋性と左右性とを分けて考えるべきで後者の方がより基礎的であろうとした[8]。

CHAMPION の研究材料であつた *Pinus longifolia* はその後にも研究者に取り上げられた。P. MISRA は次のように述べている。CHAMPION はこの樹種の樹幹のいかなる部分も第一年目の材にはねじれがおこらぬと言うが，水平枝は第一年目では決して偏心がおこらない，この2現象には関係があるかも知れないと[9]。つまり MISRA は偏心を繊維回旋の要因と見たのである。組織のねじれを起す原因の一つに，部位間に生長の差違がある場合というのがある。この範疇に樹幹の回旋生長を入れようとしたと思われる。その際彼は偏心と繊維回旋とに着目した研究者は他にないらしいと云つているが，その実

すでに HARTIG は同じ問題についてしらべるとき，偏心材の短径と長径との仮導管の大きさを計測して，何らかの関心を示したのである。MISRA は CHAMPION から贈られた材料を J. H. PRIESTLY の指導の下に研究を進めたのであるが，同門の PRESTON はこれを次のように評している。[10] PRESTON はまず回旋木理は正常な生育をした樹木にも，つまり偏心していなくても，特別な処理をしなくても，又何ら障害を受けなくても現われうるから，外因ではうまく説明出来ぬとし，次に MISRA は一年輪内の繊維の樹軸との傾き（ねじれ角）は年輪巾と逆の関係にあり，細胞膜のミセル傾角(原繊維ねじれ角)及び仮導管長とも逆関係にあるというが，これら3因子は独立のものでなく，仮導管長はミセル傾角を決定し，管長も普通年輪巾と何らかの関係にあるのであるから，単に年輪巾の影響にのみ注目し他の因子を考慮の外においたのは不幸なことであつた，という。又筆者の研究室ではカラマツの場合当年生稚苗にすでに微視螺旋構造が起ることをX線回折で知られた。また多くの回旋材を観察すると，年輪巾の大なるとき必らずしもねじれ角が小さいとも云われぬのである。[2]

PRESTON 自身は *Phycomyces* の胞子柄の回旋生長理論が，[10][11] 螺旋構造をもつ形成層の紡錘形初生細胞の伸長するさいにも当てはまる基本的現象ではないかと考えた。彼の所論は少し詳しく見ておく必要があると思う。彼によれば，この胞子柄のキチン・グルコサミンの分子の長い鎖はミセルの形で凡そ同一方向に長軸をもち，互いに平行に配列しているから，その全体の構造はセルローズ膜に似ている，胞子柄の回旋生長の説明はいままでに3線にそつて行われていると云う。(1)はミセルが膜中に形成せられて行くさいに原形質の streaming によつて一連の分子鎖が方向づけられると考えること，(2)はキティンの構造中に辷り面があつて，その面にそつて超顕微鏡的に回旋が起ると考えること，(3)はこの現象を追求した CASTLE のもので生長を起す力と，螺旋構造によつて支配されている膜の弾性との相互作用と考えること，とである。これらの考えを樹木の巨視螺旋の場合にひきくらべると，(1)は CHAMPION の，(2)は HARTIG らの考え方に近いと云うことが出来るが，PRESTON はこれを批評して，(1) は螺旋構造生成の説明になるが回旋生長の説明にはならぬとし，(2)はうまい考えであるが，回旋の変化の説明に不適当であるとし，(3)の線によるべきであるとして研究を進め，樹木の回旋生長の説明に入る前に，比較的かんたんな胞子柄の回旋生長を物理学的にかつ定量的に成り立つや否やを検討した。PRESTON の研究主題は生長とは何ぞやにあるのであるが，[12] 種々の特徴のあるこの現象が，若干の仮定の下においてではあるが，ある数式によつて現わすことが出来たと信じ，更に針葉樹の場合にも拡張した。すなわち彼は *Phycomyces* の胞子柄につき一端を平面上に支えられた直円鋳を考え，その上にキチンの鎖が 90°−a(aは0°〜90°の変数）の角度で存在する，その一端には膨圧並びに胞子柄の直径に関係する荷重がかかつていると見る。これを更に軸の一端に荷重がかかり他端が支えられたスプリングと見なすと，伸長ΔLに対する生長角（ねじれ角）$\Delta\phi$の値は，

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta L}=\frac{\cos\alpha\ \sin\alpha\left(1-\frac{nc}{qD}\right)}{a\left(\cos^2\alpha+\frac{nc}{qD}\sin^2\alpha\right)} \qquad \cdots(1)$$

α は水平線とスプリングのなす角，n は torsional rigidity, q は Young's modulus, a はスプリングの半径，c 及び D はスプリングの断面に関係する因子。

(1)式は若干の仮定を行うことによつて，

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta L}=\frac{\cos\alpha\ \sin\alpha(1-\frac{2n}{q})}{a(\cos^2\alpha+\frac{2n}{q}\sin^2\alpha)} \qquad \cdots(2)$$

を導き出せる。(2)式において α，すなわち水平線と スプリングとの間の角がわかれば，$\frac{n}{q}$ が決定でき，$\frac{2n}{q}$ が1より大であるか小さいかによつて，回旋の方向は変りうる。けだし *Phycomyces* の胞子柄の生長過程において左旋（S回旋）から右旋（Z回旋）に変わるからである。PRESTON によれば，(2)式は現象に極めてよく合致した。

針葉樹の場合への適用は MISRA のデータを用いて行われたが，伸長乃至回旋にあづかる細胞膜層中第1次膜のセルローズ鎖の水平線となす角については，*Pinus radiata* 及び *P. sylvestris* の場合を適用し，10° 台であると見てこれを用いている。(2) 式中 a はこの 場合細胞半径，n 及び q はそれぞれ 微視螺旋構造 をとる 原繊維の torsional rigidity と Young's modulus。

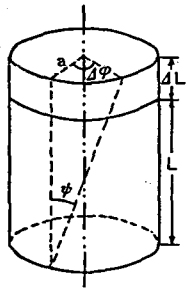


Fig. 2

Fig. 2 において $\tan\phi=a\frac{\Delta\phi}{(L+\Delta L)}$，

$$\tan\phi=\frac{\cos\alpha\ \sin\alpha(1-\frac{2n}{q})}{\cos^2\alpha+\frac{2n}{q}\sin^2\alpha}\cdot\frac{\Delta L}{(L+\Delta L)} \qquad \cdots(3)$$

となる。これは a, n, q, を一定と見れば，

$$\tan\phi=A\frac{\Delta L}{(L+\Delta L)}$$

と書ける。

更に PRESTON の見たところによると，（後に放射方向にのみ合致と訂正したが）仮導管長 $L=K\cot\theta$ であるから，(3)式は

$$\tan\phi=A\frac{\Delta(\cot\theta)}{\cot\theta+\Delta(\cot\theta)} \qquad \cdots(4)$$

(4)式に MISRA のデータを入れて検討し，実測値に合致すると云う。

まず，PRESTON の樹木の回旋生長に関する認識は，CHAMPION の所説から要約して得たものであるが，それは次のようである。

(1) 回旋は一般に幼令では左旋（S回旋）し，

(2) 2年目から始まる。

(3) ねじれ角は樹幹の基部でつよく，特に基部が膨れているとき強い，例外はある。

(4) ねじれ角の増減の経過は，はじめ早く後おそく増加し，後ほぼ一定となり，次に漸減して通直となり，更に逆転がある。

以上は勿論この現象の特徴をつくしたものと云えないのみか，胞子柄の回旋生長との類似面を強調しすぎたうらみがある。一応致命的なのは第1次膜の原繊維が水平軸に10° 台の螺旋構造を有すると見たにあるように思われる。原田らによれば，第1次膜は網状構造で主方向はほぼ直角に近いと言われている[13)14)]。網状構造がその生成の過程において螺旋的な行動を内蔵しないとは言えないけれども[15)]，形成層の場合についてはどうであろうか，又後述するように，同じ年輪の春材にも，秋材にもしばしば近接して方向が左右相反する微視螺旋構造が第2次膜中層に見られる。PRESTON 説に対する所見は後述するつもりであるが(1)及び(2)にも見落しがあると思う。彼としても伸長する螺旋構造と回旋木理とが関係がありうることを指摘する以上の意図はないと言つている。それならば窮極においては如何にして細胞膜に微視螺旋構造が存在しうるかという問は発せられねばならぬであろう。

林学者 H. BURGER[17)18)19)20)], B. H. PAUL[16)], G. E. ELLIOTT[21)], M. CHATTAWAY[19)] らの回旋木理にかんする研究報告を近ごろ散見するが，そのうちでは BURGER が古く，又最も詳細である。しかし現象の原因について触れることはいずれも避けている。

いずれにせよ形成層分裂のさいの分化機構が明らかならざる今日では，樹木の繊維回旋の研究はなお定性的に追求すべき面が多い。

筆者から見ると，この現象にかんする基礎的事実は充分徹底的でないにしても誰かがすでに認めているけれども，断続的で一貫性が欠けていた。KOLLMANN[23)] や BROWN[24)] らをして回旋木理の原因に対する態度をきめかねさせている所以であろう。

文　　献

1) 本邦には次の綜記がある。
大島卓司 ; 日林誌，16, 7, (1934), P. 39～49.
2) 大倉精二 ; ibid., (1958), P. 59～61.
3) BAUMERT, P. ; Mitt. d. Deutsch. Dendr. Gesell., (1925), P. 134～138.
4) MAYR, H. ; Waldbau auf naturgesetzlicher Grundlage, (1925), P. 127～128.
5) 金井彰 ; 日林誌，14, 9, (1932), P. 739.
6) CHAMPION, H. G. ; ibid., P. 10～30.
7) HARTIG, R. ; Forst-naturwiss. Beischr., 4, (1895), P. 313～326.
8) SEIFRIZ, W. ; Science, 1, 13, (1933), P. 361～363.
9) MISRA, P. ; Forestry, 13, 2, (1939), P. 118～133.
10) PRESTON, R. D. ; ibid., (1949), P. 48～55.
11) Do. ; ibid., (1948), P. 155～165.
12) Do. ; ibid., (1952), P. 1～10.
13) 原田浩，宮崎幸男，若島妙子 ; 林業試験場報告，104, P. 12～26.
14) FREY-WYSSLING, A. ; Macromolecules in Cell Structure, (1956), P. 31～46.
15) GREEN, P. B., CHAPMAN, G. B. ; AMER. JOUR. OF BOT., 42, 8, (1955), P. 685～693.
16) PAUL, B. H. ; F. P. L., 2058, (1956).
17) BURGER, H. ; ibid., (1953).

18) Do. ; Mitt. d. Schweiz. Anst. f. d. Forst. Versuch., 26, 2, (1950), P. 446～447.
19) Do. ; Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen, 3, (1946), P. 1～6.
20) Do. ; Mitt. d. Schweiz. Anst. f. d. forst. Versuch., 22, (1941), P. 142～163.
21) ELLIOTT, G. E. ; F. P. J., 8, (1958), P. 205～211.
22) CHATTAWAY, M. ; ibid., (1959).
23) KOLLMANN, F. ; Technologie des Holzes und der Holzwerkstoff, I, (1951), P. 28.
24) BROWN, H. P., PANSHIN, A. J., FORSAITH, C. C. ; Textbook of Wood Technology, (1949), P. 300～301.

Ⅲ 微視螺旋構造における左右関係

細胞の生長がどんな形式であろうとも，第2次膜のいかなる膜層も無関係であろう。むしろ第2次膜の添加が細胞変形の終末を示すものである。[1] それゆえ樹木の回旋生長が生長であるかぎりに於ては，第2次膜は直接には関連があり得ない。[2] しかし後生木部が出来上つてからあとの材部の挙動，たとえば狂い，特に乾燥ねじれ狂いに関しては決定的な役割りを演ずるであろう。

原田らによれば[3]第1次膜は一般に網状構造をなす。第2次膜の各膜層は多少共螺旋構造を呈し，相互に移行層をもつていて変化は漸進的であるという。PRESTON が第1次膜を螺旋構造とし，形成層初生細胞が伸長するさいに，その構造がトルクの原因になり，回旋生長がおこると考えたのは速断と思われるけれども，F. B. GREEN 及び G. B. CHAPMAN は次のように言う。[4)5)] 網状構造の淡水藻類（*Nittella*）の細胞膜が生長するときに，その表面に長軸に平行に附けた条痕がZ回旋の螺旋状相互成形をする。すなわちこの藻類の細胞膜は網状構造を保ちながら，回旋生長をするらしい。又海藻 *Valonica ventricosa* の細胞膜は，PRESTON によれば相反する回旋方向を有する700～800葉の膜層が交互に重つて，言わば網状構造に見えるのであると。[6)9)] いずれにせよ樹木の生長機構における第1次膜の変化の様相は明らかでない。研究の手のとどきやすいところにあるのは第2次膜，特にその中層である。少くとも第2次膜層の微視螺旋配向が巨視螺旋配向とどのような関係にあるかを見ようと思う。

一般に木材細胞膜の原繊維配向については，従来概ね細胞の長軸に対する傾角を論じたもので，それが左旋（S回旋）右旋（Z回旋）のいずれに属するかについては諸説がある。H. P. BROWN は射出線の直交分野の紋孔について次のように言う。紋孔開口のなかには，それが円形でないときに，直立している場合も，左右いづれかの方向に傾いていることもある。もし傾きが左から右に登る場合（Z方向）には，紋孔は射出線細胞の後壁にあり反対なれば（S方向）前の壁にある，と。[7)] この見界によれば仮導管膜の微視螺旋配向はすべてZ方向である。又 H. MEIER は第2次膜のミクロフイブリルの急螺旋配向には疑わしい点がある。細胞の一方の側だけを検するには，*Pinus* に関するかぎり，窗状紋孔を通じて見ればよい，窗状紋孔は比較的等方な第1次膜で覆われているから，窗状紋孔の上にあるか下にあるかは，偏光顕微鏡に色彩板を併用すれば簡単である。

WARDROP と DADSWELL は *Pinus radiata* ではS回旋と云うが，自分の研究室の結果では *P. sylvestris* と *P. radiata* はつねにZ回旋であり，あて材，腐朽材，正常材でそうであつたと。[8] 一方 PRESTON はかつてこの問題にも注意を払い，針葉樹では種々なる部分に左旋右旋の仮導管が見出しうると言う。[28] 細井は第2次層外層につき，Z型の配列をした外側の層とS型の配列をした内側の層がクロスフィブリル状をなしていると云う。[10] 先駆者 CHAMPION は一応この問題に注目していることは *Pinus longifolia* の仮導管の条痕について調査を行つていることでもわかるが，なお導管及び仮導管の螺旋構造は一般に一定していて普通Z回旋であるがS回旋も起る。例えば *Pinus sylvestris* である。*Berberis vulgaris* ではははじめにS回旋が，後にZ回旋が形成される，*Cucurbita* は蔓茎であるが同一個体に両者共現われるとしている。しかし彼は W. KRIEG が *P. sylvestris* の仮導管の条痕を詳しくしらべているとし，常にS回旋で37°～48°であるとの意見をも書き加えている。[11] 前にのべた R. HARTIG の説，すなわち形成層初生細胞の分裂にあたり隔壁にS及びZ方向に傾くものが共存すると云つていることも，このさい想起する必要があろう。[12]

近来電子顕微鏡の進歩と共に細胞膜の微細構造が著しく分明となつたのは事実であるが，微視螺旋構造の方向については考慮されたことはないようである。又一般に正常材の正常回旋の諸相との関係において，木材材料が論ぜられたことが少ないのであるが，試料の採取部位によつて巨視螺旋構造と同様，微視螺旋構造が異る可能性があるから，得られた結果がまちまちになることも考えられる。今第2次膜の微視螺旋構造を検するに当つて基本的に次の技術的困難がある。

(1) 光学顕微鏡で直接繊維を見るとき，窗状紋孔がない試料では MEIER の手段によれないから，視野にある紋孔が細胞の外壁にあるのか内腔側にあるのかの判定は焦点の上下手段だけが頼りで，混乱が起りやすい。

(2) 電子顕微鏡のレプリカ法による場合，試料台にとつたとき，表裏が反転しているか否か，電顕像の対象が何であるかは勿論であるが外壁側か内腔側かいずれを写しとつたかを判読する必要があるし，90° の回転でSとZの方向が変ることも注意しなければならない。もつとも180°の回転では無関係である。

(3) 偏光顕微鏡及びX線回折では原繊維ねじれ角の絶対値，或いはその平均しかわからない。

A 原繊維ねじれ角の横断的変化

仮導管のミセル排列をしらべるには，従来種々な方法が案出されて居り，BAILEY[13] らは凡そ4種に分けられると云つており，小林[14] も BAILEY の塩素処理法を簡便化した方法を発表した。

1 柾目面の光学顕微鏡による測定

小原[17] は数種の針葉樹パルプ用材について樹心から横断的に射出線の直交分野における半重紋孔の傾角をしらべ，ミセル排列を計測した。その樹種のなかには *Larix* もふくまれていたが，他の樹種の場合のように属の分類上の特徴になるような数値が出なかつ

たといつている。筆者は当初原繊維ねじれ角と併せて方向をも知ろうとしたから，一応繊維を単離して検鏡したが前述の理由により後者について統計的な結果を得ることには失敗した。それゆえ傾角の横断的な変化についてのみ下に記す。この計測には新村邦武君が協力した。

材料　カラマツ *Larix Kaempferi* Sarg.，Sample No. 1

本学構内（長野県上伊那郡南箕輪村）産。円盤高 10cm。回旋状況を示す印影は Fig. 3 である。回旋状況はOA:SV(15, 26)$_{2.50}$，OB:SⅢ(41)$_{2.5}$。

円盤の外周から樹心に向つて 3 mm 毎に被検試料をとり，シュルツ氏液で解離しサフラニンで染めた。試料には 1 乃至数個の年輪がふくまれる。年輪番号は外周から樹心に向つて附してある。

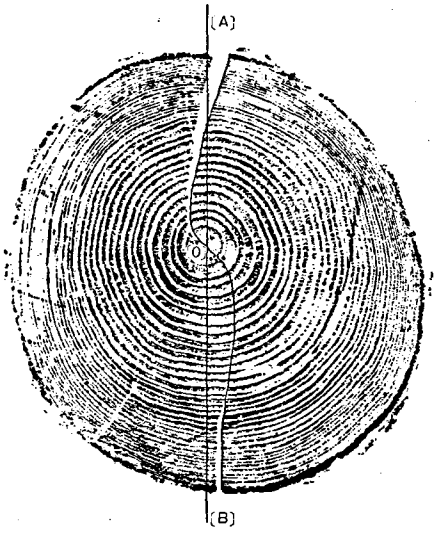


Fig. 3　Splitting curve of Sample No. 1(1/3).

射出線の半重紋孔が仮導管の長軸となす角を測るに，小原はゴニオメーターオキュラーを用いている。[17] 筆者は鏡筒に固定したカラーに角度を附しておき，クロスヘヤーつきの接眼鏡をまわして読み取つた。測定仮導管数は 1 試料につき 50 個である。春材，柾目。

Larix の半重紋孔はトウヒ型である。この角度が微視ねじれ角を示すと見てよいことは尾中と原田も見ている。[18] 計測値はほぼ正常変異曲線になるから平均値の外に代表値を示すと，Fig. 4 及び Table 1 になる。

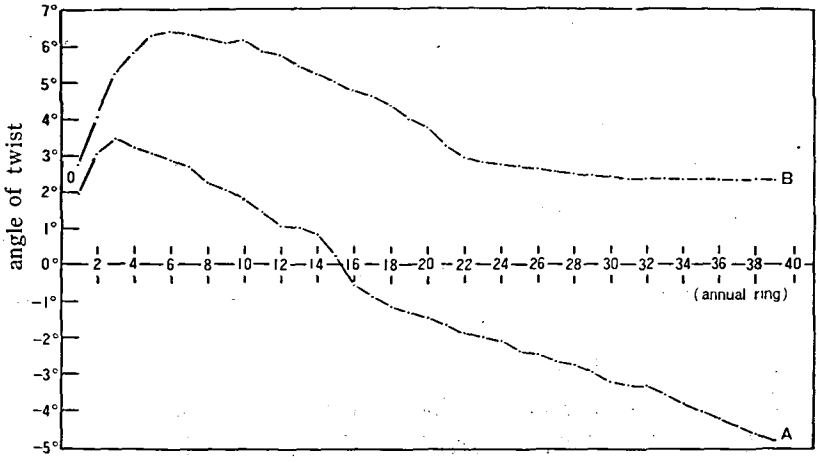


Fig. 4　Variation of angle of twist (Sample No. 1).

Table 1 Fibrillar angles of twist in trachieds of *Larix Kaempferi*, measured from tilt of pit aparture at crossfields (spring wood).

Radious OA

Sample No.	Annual ring	Degree									Total	Mean value	Mode
		15	20	25	30	35	40	45	50	55			
1	41–37		2	2	7	17	11	8	3		1845	36.9	35
2	36–32	1	1	6	8	21	9	4			1700	34.0	35
3	31–29		2	3	16	17	6	5	1		1705	34.1	35
4	28–26	2	4	3	6	21	8	6			1690	33.4	35
5	26–23		1	3	7	20	11	8			1805	36.1	35
6	23–21	1	3	5	11	21	7	2			1635	32.7	35
7	20–18		1	1	12	21	11	3			1715	34.3	35
8	18–16		1	6	7	20	10	6			1759	35.0	35
9	16–15	1	1	6	8	15	10	9			1551	35.1	35
10	15–14		1	6	12	19	6	4	1		1651	33.3	35
11	14–13	1	3	4	11	17	8	4			1600	32.0	35
12	13–12			6	14	13	9	7			1700	14.0	35
13	12–11			1	13	15	13	8			1820	36.4	35
14	11–10		4	8	9	19	2	4			1575	31.5	35
15	10–9		1	5	5	18	13	5	2	1	1830	36.6	35
16	9–8		5	4	10	17	12	1	1		1670	33.4	35
17	8–7		2	7	10	6	14	4	1		1875	37.5	40
18	7–6		1	7	9	14	9	4	4	2	1805	36.1	35
19	6			6	8	14	15	5	1	2	1865	37.3	40
20	5		1	5	5	6	19	7	2		1680	33.6	40
21	4		1	3	2	13	16	10	1	2	1860	37.2	40
22	3		1	3	10	12	18	5	1		1810	36.2	40
23	3–2		1	2	4	8	20	6	3	2	1800	36.0	40

Radious OB

Sample No.	Annual ring	Degree									Total	Mean value	Mode
		15	20	25	30	35	40	45	50	55			
24	41–40	3	4	1	14	18	7	3			1615	32.3	35
25	39–37		4	5	7	19	10	4	1		1710	34.2	35
26	36–35	1	3	8	13	17	7	1			1585	31.7	35
27	35–33	3	3	6	8	20	6	4			1615	32.3	35
28	33–31	2	5	2	7	19	9	5			1640	32.8	35
29	30–29	3	4	7	7	14	10	4			1600	32.0	35
30	28–27		5	6	7	20	6	6			1670	33.4	35
31	26–25		5	7	5	16	10	4	3		1925	38.5	35
32	25–23	1	2	3	10	16	8	8	2		1770	35.4	35
33	22–23	1	1	4	14	20	9	2			1790	35.8	35
34	22–21		2	5	12	19	11	1			1670	33.5	35
35	20			1	9	20	14	6			1825	36.5	35
36	19–18			4	7	25	8	6			1775	35.5	35
37	18–17			2	9	25	12	2			1775	35.3	35
38	17–16			10	10	17	9	4			1685	33.7	35
39	16–15			7	8	16	17	2			1745	34.9	35
40	15–14		3	11	10	16	6	4			1615	32.3	35
41	14–13		1	6	10	16	13	4			1730	34.6	35
42	13–12		1	2	14	19	12	2			1725	34.5	35
43	12–11		1	7	9	21	11	1	1		1700	34.0	35
44	10–11			5	9	21	10	5			1755	35.1	35
45	10–9			5	12	20	12	1			1710	34.2	35
46	9			4	11	17	14	4			1765	35.3	35
47	8		1	5	10	18	9	7			1750	35.0	35

48	7			1	4	13	15	13	4		1985	39.7	40
49	7～6				10	12	18	6	4		1910	38.2	40
50	6				5	11	16	14	2	2	2015	40.3	40
51	5				7	13	23	5	2		1910	38.2	40
52	4			4	10	15	20	1			1770	35.4	40
53	3			3	13	18	14	2			1995	39.9	40
54	2			3	18	23	6				1910	38.2	40

小原によれば[17]，エゾマツ樹幹に関し射出線半重紋孔の傾角は樹幹の中心部位において著しく，離れるに従つて急減し，10年以後は前ほど著しくない。春秋材共傾角の傾向は同様であるが，春材の方が傾角大である，その傾向は生長の如何は問わぬ，向頂的に傾角小となるが，横断的傾向は変らないと。尾中らの場合では供試材の部位が判明せずほぼ一定値を示しているが，彼らの試料は棺材と心柱材から得たものであるから，樹心からかなり離れたものであろうことは想像出来る。又小原はこの傾角は樹種により平均値及び代表値はほぼ一定しており，*Larix* では55° 及び 46° 附近にあり，*Abies* 属と *Picea* 属との中間にあると云うがその傾角の及ぶ範囲は甚だ広く，一つは8°～73°，他は37°～85° で甚だ差異があり，*Larix dahurica* のデータを加えると，更に偏差が大となり *Larix* 3種の類縁がわからぬとしている[17]。Fig. 4によると，供試カラマツの春材の第2次膜中層の原繊維ねじれ角は放射面において，たしかに *Abies* 属と *Picea* 属との中間にあるが，ほぼ40°及び35°附近，その範囲は5°から55° 附近であり40° から35°に減少するのは樹心から7乃至8個目の年輪からである。些細に見るときは外周に及ぶにつれてより小さい傾角をもつ個体が現われて来るような傾向が認められ，もつと樹令が進めばもつと小さい代表値が出て来ないとも限らない。

2　板目面のX線による測定

i）ラウエ写真による概観

長沢は[19]，木材組織のラウエ写真の型式を分けて次の4種とした。(1)はミセルがミセル相互並びに繊維軸に平行に排列したもの，(2)はミセル相互に平行であるが細胞内において繊維軸に一定の傾角で螺旋上に排列したもの，(3)は(2)と同じく螺旋上にあるが，傾角がやや不規則に排列したもの，(4)は単にデバイ環のみが生じ繊維晶子の排列に規則性のないものとである。KOLLMANN[25] は同じく4種に分けているが，点状（Punkt），鎌状（Sichel），複式（Doppel）及びその重なり合つたもの（Überlagerung）とし，点状は長沢の(1)，複式は(2)，鎌状は(3)に当る。仁田[21]は，両者の型式の凡てをふくみ8種の型式を2種の針葉樹，19種の広葉樹について分類したが，単純繊維系統のもの4，螺旋繊維系統のもの1，KOLLMANN の複式を（重）と名付け，長沢の(4)即ち晶子配列不規則なものを（円）と名付け，KOLLMANN の Überlagerung を（複）と名付けている。仁田の場合は恐らく単純繊維系統に比して螺旋繊維系統に簡に過ぎると思われる。この様な分類によつて木材組織の晶子排列の定性的概観は可能であるがこのさい KOLLMANN の Überlagerung，仁田が複と名付けた場合が問題である。

仁田[21]によると，X線による木材組織のラウエ写真がそれぞれ植物学的な特徴から分類されるような多岐複雑なものでなく，同一樹種の各試料がつねに同じX線図を与えるも

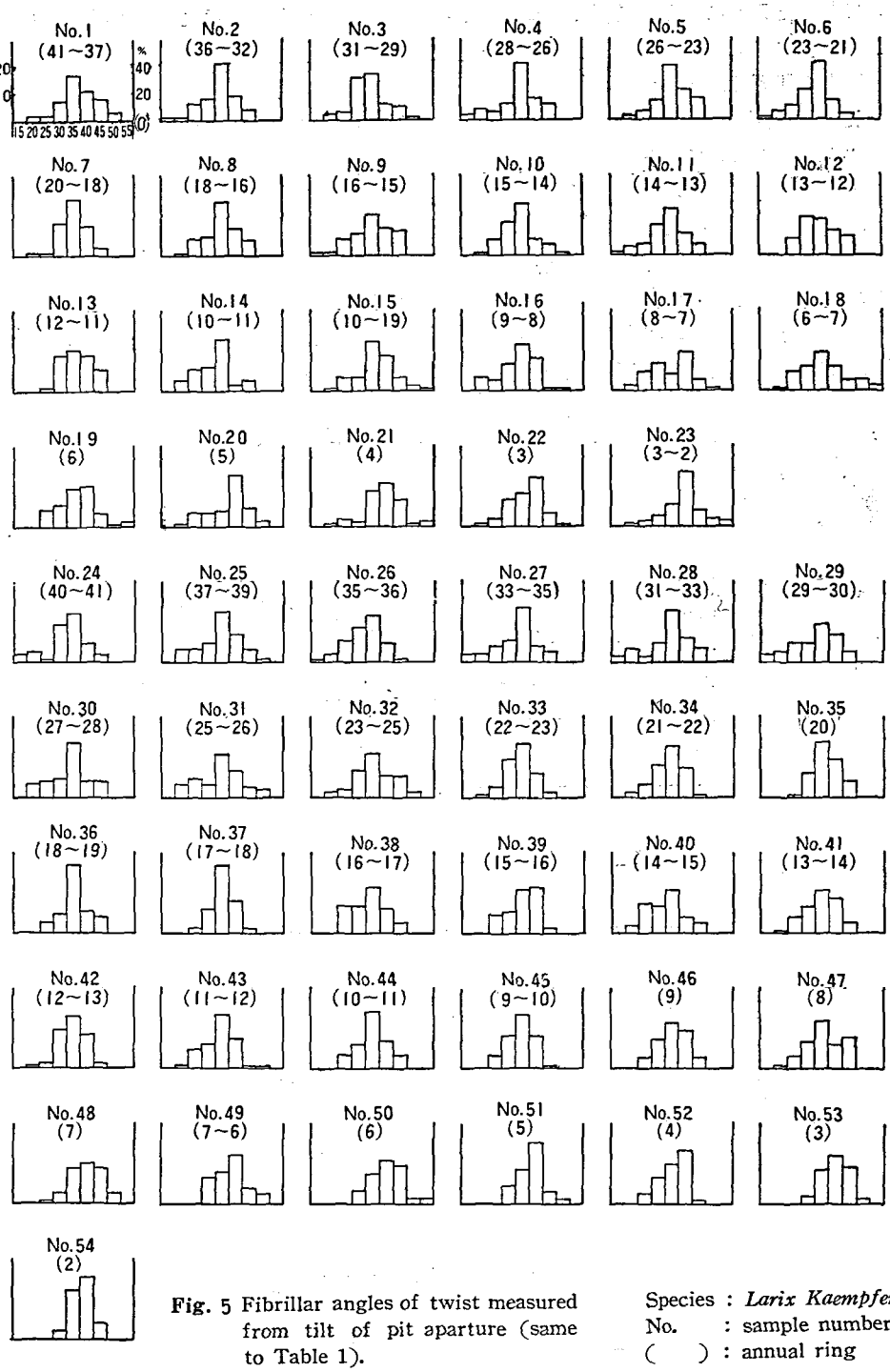


Fig. 5 Fibrillar angles of twist measured from tilt of pit aparture (same to Table 1).

Species : *Larix Kaempferi*
No. : sample number
( ) : annual ring

のでないと云うに反し，長沢は[19]ミセルが繊維軸に対する傾角は樹種において差異ある如し，と言つている。

筆者の研究は徹底したものでなく試ろみ程度に止るが一応下に記することとする。

農林省林業試験場木材部の好意によりラウエ写真を撮つた。カラマツ Sample No. 2 は次のようなものである。

本学構内産，回旋状況 Fig. 5。

OA:SIII $(16)_{14.0}$，OB:SIII$(16)_{14.0}$

樹心から外周に向つて第2年輪からはじめ隔年毎に，春秋材別に厚さ 1mmほどの板目の材片を試料にとつた。最終試片（第16年輪）だけは年輪巾が狭かつたので春秋材を分けなかつた。（ラウエ写真の撮影データー：X線線質:Cu K_α 30KV 10mA, Slit：pin hole 1mmϕ, 試片と film 距離30mm。）

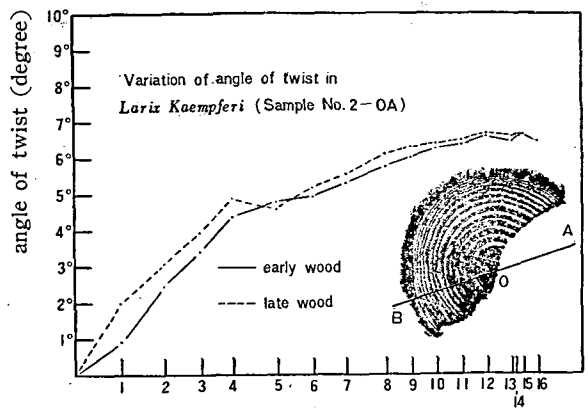


Fig. 6—A

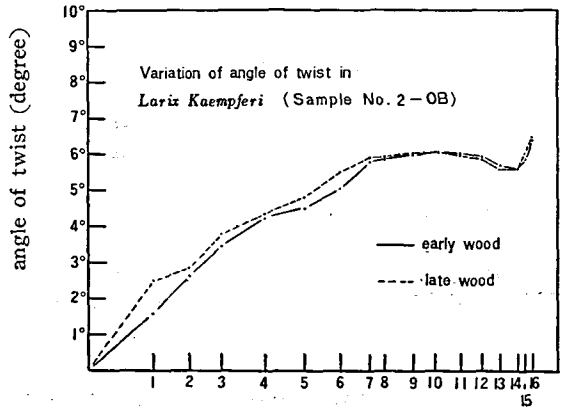


Fig. 6—B

Plate I, Phot. 1, 2 : (A—1E) 及び (A—1L)。

Fig. 6 中 OA 方向の第2年輪春材と秋材。明瞭なデバイ環の外に，螺旋構造を示す鎌状図が見られる。仁田が（複）と名付けたものに相当する。春材に比して秋材はいくらか晶子配列が規則的である。

Phot. 3, 4:(A—2E) 及び (A—2L)。

OA 方向以下同断，第4年輪の春材と秋材。同様に（複）であるが，デバイ環はうすく子午線上 (002) がきわ立つて来ている。つまり Phot. 1， 2に比して晶子配列において螺旋構造が優越して来て，不規則な配列の程度が少くなつたもの。 Phot. 3 はいくらか仁田の名付ける（重），KOLLMANN の Doppeldiagramme (Bild 135b, p. 117) に近い。しかし KOLLMANN の場合のように試片にあて材と思われる様子はない。

Phot. 5, 6: (A—3E) 及び (A—3L)。

第6年輪春材と秋材。明瞭な鎌状図，仁田の（螺）である。春材はいくらか螺旋角が大きい。秋材の方がかなり晶子配列がよい。Phot. 4 に比べると螺旋角は小であろう。

Phot. 7, 8:(A—4E) 及び (A—4L)。

第8年輪春材と秋材。同じく螺旋繊維系統の鎌状図である。 Phot. 5, 6 と螺旋角はほとんど変りがない。しかし，春材より秋材の方が螺旋角が大きいようである。

Phot. 9, 10: (A—5E) 及び (A—5L)。

第10年輪春材と秋材。春材は Phot. 7 と同じか或いは少し分散の大きい螺旋構造であるし，秋材はほとんど Phot. 4 と同じ状態を示している。

Phot. 11, 12: (A—6E) 及び (A—6L)。

第12年輪春材と秋材。両者ともに極めて配列のよい単純繊維系統に属することを示す。少くとも秋材は仁田が（甚良）と名付けるものである。春材の方は同じく単純繊維系統でも，仁田がエゾマツの中間部の場合を例示し，（稍）と名付けたものに近い。秋材に比してかなり平行度は劣る。 Phot. 11, 12 が Phot. 9, 10 と2個の年輪を隔てて突然現われた理由は，試料の印影を見てもわからない。

(A—7), (Phot. 省略)。

OA 方向最外部第16年輪の春秋材。 Phot. 11 とほぼ同様。

以上を概観すると，樹心附近は平行度劣り，外周に近づくにつれて，時に逆転もあるけれども概ね平行度を高めて行く傾向が見られる。春材は秋材よりも平行度が悪いと云つてよかろう。

Plate II, Phot. 14, 15: (B—1E) 及び (B—1L)。

半径 OB 方向，第2年輪春材と秋材。デバイ環はかなり明瞭であり，鎌状図より仁田の(複)，KOLLMANN の Doppel と名付けた図のように見える。多分仁田の（円），(螺)，(複)の三種が重なり合つたものと思う。2枚の写真間，つまり春秋材による区別はほとんど認められない。

Phot. 16, 17:(B—2E) 及び (B—2L)。

第4年輪の春材と秋材。Phot. 16 は仁田の(円)と(螺)の(重)である。Phot. 17 は(螺)で Phot. 16 に比して晶子配列ははるかに勝れている。

Phot. 20, 21:(B—4E) 及び (B—4L)。

第8年輪の春材と秋材。 Phot. 20 は明らかに（螺）で第6年輪春材より少しく螺旋角の分散大である。Phot. 21 は恐らく(複)と(螺)との(重)で Phot. 15 のデバイ環がかなりうすれ，晶子配列が勝れた場合である。

Phot. 22, 23: (B—5E) 及び (B—5L)。

第10年輪春材と秋材。共に（螺）であるが春材の方が晶子配列すぐれ，螺旋角の分散も小である。

Phot. 24, 25: (B—6E) 及び (B—6L)。

第12年輪春材と秋材。春材は Phot. 20 即ち第8年輪の春材と同程度の(螺)，秋材は(複)で Phot. 2 即ち OA 方向第2年輪の秋材と同じような場合である。

(B—7)，(Phot. 省略)。

OB 方向。第16年輪春秋材。デバイ環が明瞭で (A—7) とは全たく異る(螺)と(円)との(重)である。

OB 方向では OA 方向のような一般的傾向は認められない。

長沢によれば[19]樹心附近は晶子配列の平行度が高く外周にむかつて劣り，春秋材による変化はほとんどない。又樹種毎に特徴があるように思われる由であるが，これに反し，田中及び室[20]は，樹心から外周に向うほど平行の程度が大で，年輪巾如何で平行度は変る，生長急の時期には平行度異常に悪い，春材は秋材より一般に平行度悪いが，年輪が進むと平行度増大する傾向は秋材と同様，又同一年輪中春材の内側は外側より平行度悪いという。つまり田中及び室は生長の急速な場合には平行度悪くなるという。久保及び柳生[27]も亦，檜材について螺旋角は中心で最大，周辺に近づくにつれて減じ周辺部ではほとんど螺旋構造はみとめられぬ。中心部では 45° ぐらいに達するという。仁田[21]は，近心部低く中間部，辺部の方が平行度の高い傾向が比較的多く，逆の場合の方も少くないが，外方に向つて単調に平行度高くなり，又低くなり，時には中間部において平行度の極大又は極小を示すもの，全年輪を通じて変化のないものがあり，どれが正常の型か決定すべき特別の理由が見当らぬという。又年輪巾のせまい方が平行度が高いという説を引用している。 WARDROP[22]は，年輪巾大であれば仮膜管長短かく原繊維ねじれ角大となると云つている。

樹心に螺旋角大で後平行度高くなるという傾向がほぼ正しいように思われるが，なお生物学的検討を必要とする。

ii) X線ディフラクトメーターによる計測

近時におけるX線結晶学の進歩は実験的には回折線の方位と強度の測定法の進歩であるという[28]。農林省林業試験場では1959年に新たにX線ディフラクトメーター（理学電機株式会社，Geigerflex）を設備され，筆者が依頼した *Larix Kaempferi*, Sample No. 3 から得た試片を記録するの労をおしまれなかつた。

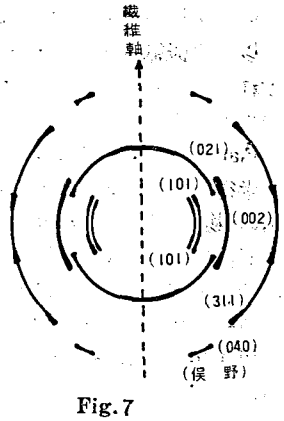


Fig. 7

従来繊維のラウエ写真は，斑点を生じたX線エネルギーと，その黒さが直線的比例関係にある範囲内において撮影

される[23]。その黒さはこの場合繊維素に由来すると考えられているゆえ[19]，結晶面 (002)に相当する子午線の弧をマイクロホトメーターで追跡し，実質的には第2次膜中層の晶子の平行度を知りうるのである[24]。即ち呉と久保[23]によると繊維を構成する晶子の実用的平行度は，

$$\Pi=\frac{90^\circ-\frac{H^\circ}{2}}{90^\circ}\times 100 \qquad \cdots(1)$$

で与えられる。H° は最強の赤道斑点の強度分布曲線よりの半価幅である。この場合%をつけずに単に数値で現わす方が適当であると。

今ディフラクトメーターによつて自動記録された図形は，フォトメーターにかけたような回折線に相当する山が現われ，近似的には山の頂上が2θに相当し，高さの半分から半価幅が出る。これによると(1)式からえた価が大であるほど平行度が高いことになる[41]。

記録されたチャートは Fig. 8 の様である。これらのチャートから Fig. 9 を得た。用いた試料はカラマツ Sample No. 3, 厚さ 1 mmの板目，春秋材別。Fig. 10 に示す。

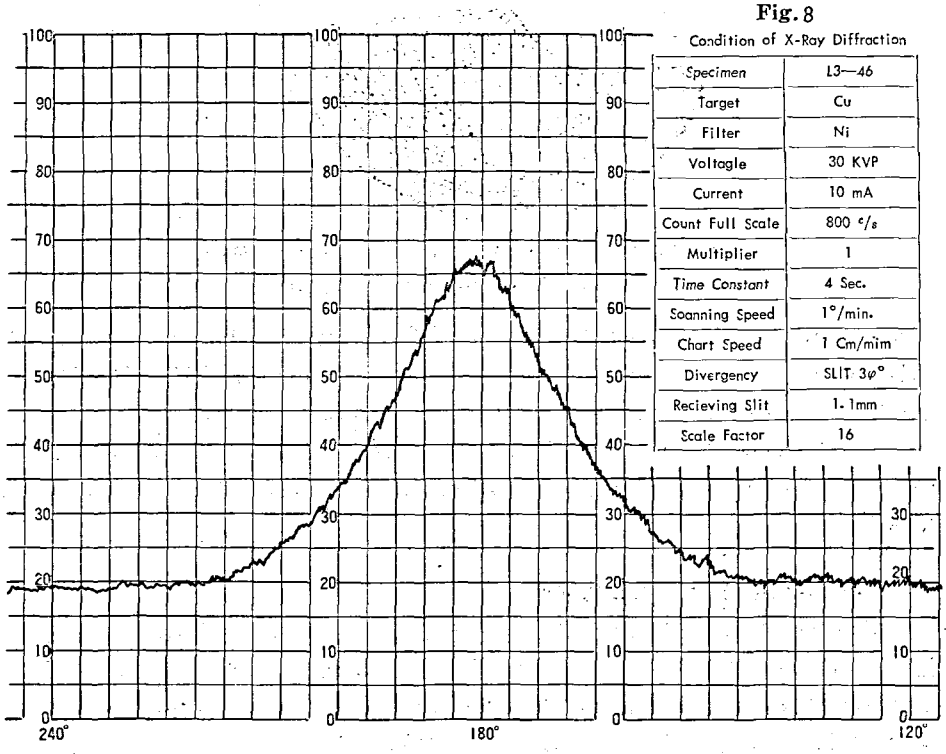
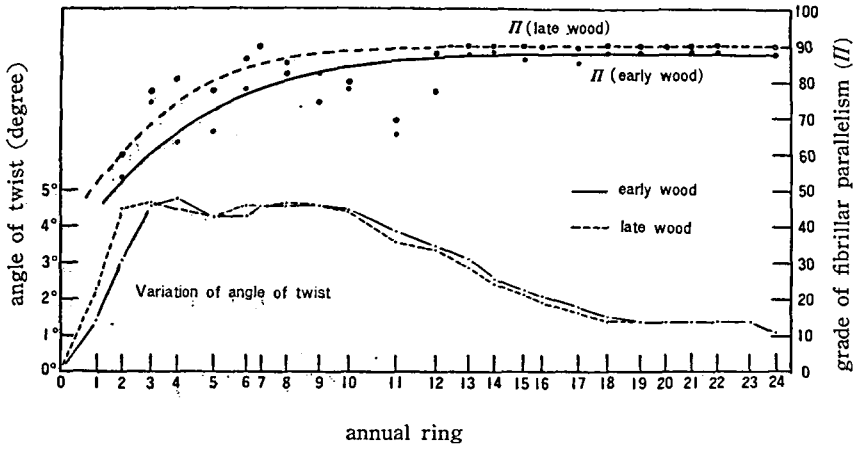


Fig. 8

Condition of X-Ray Diffraction

Specimen	L3—46
Target	Cu
Filter	Ni
Voltagle	30 KVP
Current	10 mA
Count Full Scale	800 c/s
Multiplier	1
Time Constant	4 Sec.
Soanning Speed	1°/min.
Chart Speed	1 Cm/mim
Divergency	SLIT 3φ°
Recieving Slit	1. 1mm
Scale Factor	16

Fig. 9 Grade of fibrillar parallelism (Π) and variation of angle of twist in a radius (Sample No. 3).



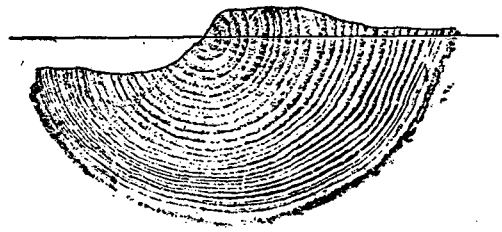


Fig. 10 Splitting curve of Sample No. 3 (upper part of datum line is used for X-Ray Diagram).

KOLLMANN によると，*Kiefer* のミセルののぼり角ははじめ春材，秋材とも同じ値を示し 45° 附近から出発し，漸次増大し，第12年目頃から秋材はほぼ 77°～78° 附近に，春材は70°附近でほぼ一定値を保つという。のぼり角はねじれ角の余角になる。

カラマツ Sample No. 3 の場合には春秋材とも板目の平行度が一致するときはなく，つねに春材は秋材より平行度が悪いが，第10年輪附近からほぼ一定値になることは同様である。

B 第2次膜中層 (S_2) の二方向性

H. P. BROWN[1] らは，第2次膜外層 (S_1) は横巻きに近いが重紋孔の輪帯附近をのぞき逆時計方向に昇る螺旋状をなし，中層 (S_2) も同じ方向で原繊維は水平線と 45° 以上かたむいている，しかし内層 (S_3) では不明であると言つている。山林[30]は S_3 についてもおおむね S_1, S_2 と同じであると云う。この方向は筆者の場合で云えば Z 方向である。[31] 角度はほぼそのとうりと思うけれども方向について異論があることは本章のはじめに詳しく述べた通りである。BROWN らの考えは欧米の研究者がほとんど針葉樹の巨視螺旋構造を幼型配向では S 方向としているのと暗合しているように思われる。[1]

1　光学顕微鏡による検鏡結果

カラマツ Sample No. 1 について検鏡の結果を次に記す。原繊維ねじ角測定の場合と同じように処理した仮導管を1,500倍，油浸系にて撮影した。

Plate Ⅲ，Phot. 1 及び 2。

第5年輪春材，柾目。中央の仮導管には重紋孔と射出線との間の半重紋孔が見える。後者の在る壁が問題であるが，Phot. 2 は鏡筒を下げ焦点を重紋孔に合せて得たものであるから，半重紋孔は手前の壁にあり，S_2 の原繊維配向は S 方向，ほぼ 40°。

Phot. 3 及び 4。

第10乃至第11年輪春材，柾目。一本の仮導管で Phot. 3 は重紋孔に，Phot. 4 は半重紋孔に焦点を合せてある。そのさい鏡筒を下げ Phot. 4 を得ているから，半重紋孔の傾きは仮導管の内腔側 S_2 の原繊維配向を示したものと見ねばならぬ。従つて一見S 方向と思われるが S_2 の配向はほぼ Z 方向，30°～32° である。

Phot. 5 及び 6。

第10乃至第11年輪春材，柾目。3本の仮導管について Phot. 5 は半重紋孔に，Phot. 6 は重紋孔に焦点を合せてある。後者を得るに鏡筒を下げたゆえ，半重紋孔はたしかに3本の仮導管の外壁側にある。Phot. 5 の S_2 の原繊維配向は Z 方向，45° 附近にある。

これらの写真からカラマツ仮導管は，幼型配向のさいから S 及び Z の二方向を具えていると思われる。

2　電子顕微鏡による検鏡結果

光学顕微鏡の結果を電子顕微鏡で更にたしかめて見た。そのさいエチールメタクリルーアルミニウム2段法と呼ばれるレプリカ法を用いた。すでに原田らは[33]，木材細胞膜構造の多くの電顕像を我々に紹介し，そのなかには重紋孔及び半重紋孔の像のいくつかを含んでいる。しかし彼らの場合では像が示す構造や形状が問題であつたから，原繊維配向については当然考慮されていない。従つて彼らの像における原繊維若しくは紋孔の方向は，少くとも直接には論議の対象にはならない。それはしばしば発表されている他の電顕像についても同様である[31]。

一般にレプリカ法で木材組織の電顕像を得るに至るまでに通る手続の間に，左右関係は次のような面倒な事情の下にある。

(1)　材料から樹脂板への転写のさい左右関係は逆になる。即ち S 方向は Z 方向に転写される。

(2)　原繊維の方向は外壁側と内腔側とでは左右関係が逆であるから，外壁のレプリカか，内腔のそれであるかも判読を要することとして後にのこされる。この場合に最も特徴的で役に立ちそうなのは，仮導管の内腔にある原田らの所謂イボ状構造[34]であるが，不幸カラマツにはこれを欠いている。

(3)　レプリケートされた樹脂板は真空蒸着器内でシャドウイング，コーティングされる。

(4)　樹脂板は溶媒中で除去されて，金属の薄膜が溶媒中に浮き沈んでいる形になる。これを試料台上にとるのであるが，この過程中に台上にとつた薄膜が表裏反転したか

否かが次の問題である。内海[33]はこのためには薄膜の一端に予め墨をつけておけばよいと云うている。この方法は Cr—Al 法の場合は注意深ければ可能である。しかしシャドウイング，コーティングの金属を制限するもので，例えば，Pd—C 法を用いた場合は薄膜は透明に近いから弁別の用をなさぬ。又明瞭な像を得るためには充分樹脂を除く要があるから，薄膜は少ぐとも2回溶媒中で漂わし洗う必要があるけれども，この場合には事態をよけい面倒にしてしまう。

筆者は墨を附した樹脂板上の金属を溶媒中に浮かせるさいに，永く漂わせることを止め，なるべく速かにシートメッシュ上にとることに努め，溶媒中で反転する暇のないようにした。その後光学顕微鏡で墨の所在をたしかめ得たものについてのみ電顕にかけた。像は必然的にかなり汚れたものにならざるを得なかつたけれども，原繊維或いは紋孔の方向を見るのが目的であるから，これで満足することとした。

つまり電顕において筒状の被検体についてレプリカ法を用いて螺旋の左右方向を知るためには，(1) レプリカが内外いづれの面を写しているか，(2) 被検試料が反転したか否かが問題となるのであるが，木材組織の場合には，これが長軸方向のエレメントか，水平方向のエレメントか，即ちこの場合では仮導管か射出線かについても判読されねばならぬ。被検体が 90° だけ廻転しても左右関係は逆転する。

今光学顕微鏡で見たように仮導管に S 及び Z の二方向を有するものとして，電顕像に現われた S 及び Z 方向の関係を示すと Fig. 11 の通りである。

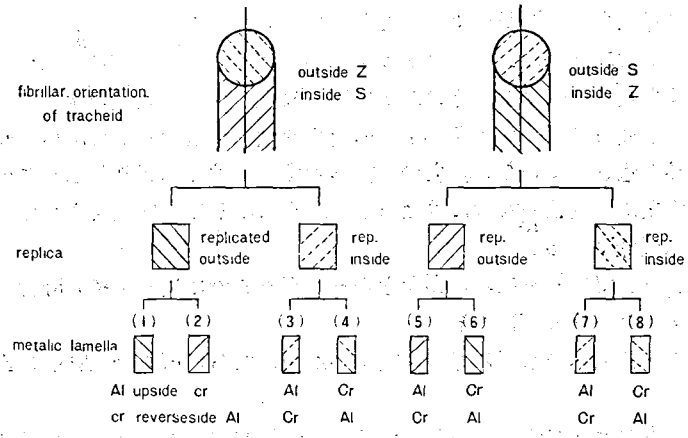


Fig. 11 Alternation between S and Z direction of microspiral in tracheids to get the electron microscopic images.

この過程について，誤りなく像からさかのぼり得なければ，もとの仮導管の原繊維の回旋方向に信頼性がないことになる。筆者の場合には，つねに Al が上で Cr が下側になり，電子線は Al 面から投射されたわけで，像は Fig. 11 において(1), (3), (5), (7)の奇数番号のいづれかでなければならぬ。それゆえ像の特徴から仮導管の外壁或いは内腔のいづれかの側を転写したかを判読出来ればよいわけであるが，スンプの項で詳説する

ように簡単に事が運ぶ場合は少ない。

Plate Ⅳ, Phot. 1 及び Phot. 2。

Sample No. 1, 割裂面, 春材, 柾目, ↙は仮導管の長軸方向。いづれも仮導管と射出線との間の半重紋孔を仮導管の表面において撮し得たものと思う。紋孔以外の部分は横巻きに近く, S_1 である。割裂が S_1 と P との間に起うたものと思う。Phot. 1 は S_2 の配向 S80°, Phot. 2 は S_2 の配向 Z 25° を示している。Phot. 1 の如きは微視ねじれ角が極端な例である。(使用電子顕微鏡 HU—9 型, 電子加速電圧 75KV, 対物レンズ電流 123mA, 投射レンズ電流 60～130mA, 乾板 KSK プロセスハード, 現像液名 D—72)

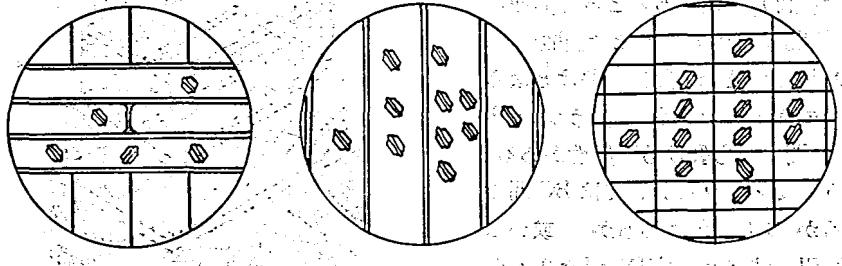
3 スンプ法による左右関係

細胞膜の原繊維配向は膜の表裏, 換言すれば細胞の外壁側と内腔側から見た場合とでは方向が逆になる。その事は今述べたところであるし, Brown らの図示でも判かる。光学顕微鏡で, 解離した仮導管をそのまま観るさいには, 細胞の双方の壁が一度に見えてしまうためしばしば混乱を起し, 多くの個体を統計的に測定するのに困難である。電子顕微鏡では全く機会にまかせているようなものである。

スンプは材の表面を言わばレプリケートするものであるから, 若し仮導管と射出線の別, 細胞壁の内外が確認出来れば, 細胞膜が透けて見えないだけに, 又方法が簡単であるだけに試みる価値があると思う。[43]

電顕のさいのレプリカでは試料が溶媒中で反転するか否かが問題で, 内外いづれの側を写したかは, 得られた像から判読しうる場合も多いけれども, スンプでは試料の反転の怖れはない代りに像の判読が容易でない。

今, カラマツ Sample No. 1 について割裂柾目について仮導管と射出線の直交部分に着目して多くのスンプを観察すると, その像の基本型式は 3 種に分類出来る。



Type Ⅰ Horizontal type　　Type Ⅱ Vertical type　　Type Ⅲ Crossed type

Fig. 12 3 types found in S. U. M. P. statues (*Larix Kaempferi*).

Fig. 12 において Type Ⅰ (Plate Ⅴ, Phot. 1) は射出線における直交部分, Type Ⅱ (Phot. 2) は仮導管において射出線との直交部分の像が写されて居る。Type Ⅲ (Phot. 3)

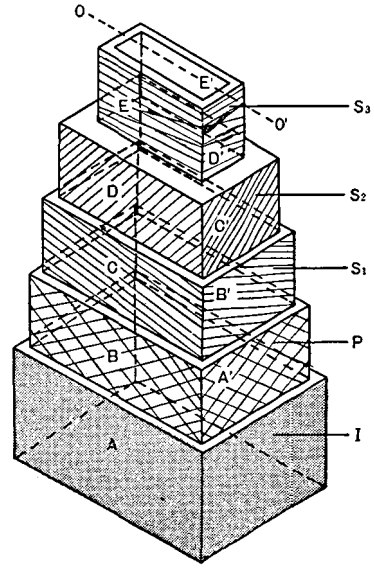
には双方のエレメントがうつされている。

原田ら[3]は，仮導管膜の微細構造をしらべるために割裂面（劈開面）のレプリカをつくつたとき，次のように言う。細胞間層が劈開に弱いようであるが，それは稀にしか起らず，事実はミクロフィブリル構造をもつている第2次膜の外層（S_1）に起ることが多い。細胞間層の様子は電顕像において粘性が大きいように見えるとし，小林及び内海がリグニンが層状に剝げにくい性質をもつこと，第1次膜（P）あるいは第2次膜の外側にまで深く侵入しているかも知れぬという推測をも併せ述べている。このことは原田の Plate 4 に示したカラマツ電顕像が S_1 を示していることからも肯ける。WARDROP[22]は木材の試片が引張り試験にさいして，細胞の断絶が春秋材のS_2のミセル配向と一致して起る場合と，細胞間の分離が起る場合とがあるという。細胞間のどの層で分離したかを決定するのは困難であるが，*Pinus radiata* では P と S_1 との間で破壊したし，*Pseudotsuga* では P と S_1 との間のほか，S_1 と S_2 の間でも起つていた。彼は異なる細胞層間の粘着を支配するのはミセル配向の差異，並びにミセル間物質系の相対的量の差異に起因すると考えている。WARDROP の仮定が信ぜられるとすれば，割裂の場合でも，樹種による現れ方のちがいは多少あつても，S_1 と S_2，P と S_1 との間に起り易いと思われる。同様に同じような考え方から S_2 と S_3 との間でも起らないとは云えないであろう。

割裂に当つて P と S_1 の間，或いは S_1 と S_2 との間が裂けるにしてもいづれの場合でもある仮導管について，言わば手前の膜間と向う側の膜間とに於て割裂が起りうることは予想しなければならぬ。

即ち Fig. 13 に於て，（原田らの所謂移行層は除いてある）BC 間（P と S_1 間）が裂けるのと全く同様に B′C′ 間（向う側の P と S_1 間），又 CD 間（S_1 と S_2 間）で裂けるなら全く同様に C′D′ 間（向う側の S_1 と S_2 間）でも裂ける可能性がある。そうしてスンプにおいては BC 間であるか B′C′ 間であるか，或いは CD 間であるか C′D′ 間であるかによつて，半重紋孔の傾きから判断する原繊維配向はそれぞれ逆になる。仮導管はスンプで見た場合，上のような割裂相を示すかぎりにおいてスンプで見る原繊維配向は機会によるもので 100中50：50に現われる

Fig. 13 Explanation for localities of spliting plane about a schematic tracheid.



I— Intercellular layer
P—Primary wall
S_1—Outer layer of secondary wall.
S_2—Central layer of secondary wall
S_3—Inner layer of secondary wall

べきである。

ところで o—o′ というような面では割裂は起らないか。少くとも割裂させるつもりであつても，剪断或いは鉋削のような結果は起らないであろうか。柾目を得るつもりの割裂に当つて仮導管の切線方向の側壁が，或いは射出線の水平壁が，両断せられるような場合は起り得ないであろうか。少くとも後者の場合は起り得ることは原田らが割裂面の電顕像で射出線の内腔側を得ているのでも証せられる。(Plate 24, Phot. 48, Plate 26, Phot. 51, 52, Plate 27, Phot. 53)又スンプの Plate V, Phot. 1 にも見えるように Type I ではしばしば射出線の垂直壁が見られるのである。Type II は樹心附近に多く現われ，外周に及ぶにつれて少くなる。樹心附近では年輪直径に比しねじれ角が大であるから，割裂の加撃にあたつて仮導管の放射方向の側壁が破壊された結果となるかも知れない。原田らは仮導管の内腔が割裂によつてたしかに得たという電顕像を出していないけれども，試料の如何によつて仮導管又は射出線において両断され，内腔側を示す場合が多少でも考えられると原繊維配向のスンプは50：50を予想することは出来ない。つまり Type I 及びIIでは仮導管を外側から見た場合の原繊維配向を 50：50に示すかどうかに疑いがある。

Type III の場合は仮導管の長軸方向の細胞壁と射出線では水平壁を写している。かかる型式は樹心から外周までは頻繁に起つている。原田らの，Plate 23, Phot. 45は，柔細胞の P 部分で裂けたことを示す。Type III は細胞間層と P との間，或いは P と S_1 との間で裂けたか，或いはスンプにおける任意の部分において裂けた膜層がちがうにしても，この型式では，エレメント自体の両断があるとは考えられないから，もし仮

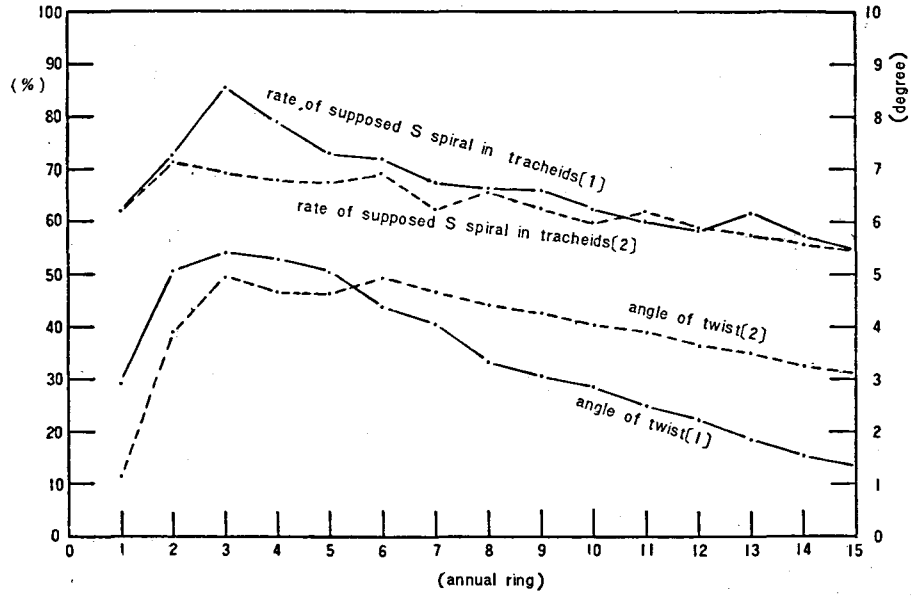


Fig. 14 Angle of twist and S and Z rate of supposed direction of spirals in 2 samples (*Larix Kaempferi*).

導管が一定方向の原繊維配向をもつとすると，多くの個体をしらべる限りにおいて，その方向は，50：50に近い数値になる筈であろう。もつともスンプで観た方向が仮導管においてそのままの方向か，或いは逆の方向であるかは不明である。

Type Ⅰ 及び Type Ⅱ を除き，Type Ⅲ を示すスンプについてのみ簡単な統計処理を行つて見た。Sample No.〔1〕,〔2〕はいづれも本学構内産。

年輪別の計測数は半重紋孔200～300個である。

Table 2 Rate of supposed directions of spirals observed by the S. U. M. P. method.

〔1〕

Annual ring	S	Z	S+Z	$\frac{S}{(S+Z)} \times 100$
1	160	99	259	61.8
2	195	74	269	72.5
3	246	41	287	85.7
4	204	55	259	78.8
5	190	71	261	72.8
6	187	73	260	71.9
7	166	81	247	65.2
8	148	76	224	66.1
9	165	86	251	65.7
10	159	95	254	62.4
11	111	74	185	60.0
12	150	108	258	58.1
13	156	97	253	61.7
14	149	112	261	57.1
15	137	113	250	54.8

〔2〕

Annual ring	S	Z	S+Z	$\frac{S}{(S+Z)} \times 100$
1	155	95	250	62.0
2	184	73	275	71.6
3	174	76	250	69.6
4	172	81	253	68.0
5	175	83	258	67.8
6	188	83	271	69.4
7	165	99	264	62.5
8	181	95	276	65.6
9	158	94	252	62.7
10	138	94	232	59.5
11	153	94	247	61.9
12	116	93	199	58.3
13	114	85	199	57.3
14	87	69	156	55.8
15	104	87	191	54.5

単一仮導管の S_2 の原繊維ねじれ角を測定した場合と同じく，射出線との直交部分における半重紋孔の傾きが S_2 の原繊維配向をあらわすとし，この場合は単に方向のみについて記録した。スンプにおける S 方向を S とし，Z 方向を Z で現わしたけれども，現実の仮導管の S_2 の微視螺旋構造が S 又は Z 方向であるという意味にはならない。

Fig. 14, Fig. 15 によれば，スンプ上の S 及び Z の百分率と樹幹のねじれ角は有意の関係があると見て差支えなかろう。S_2 の原繊維ねじれ角の絶対値と比較した時のようではない。

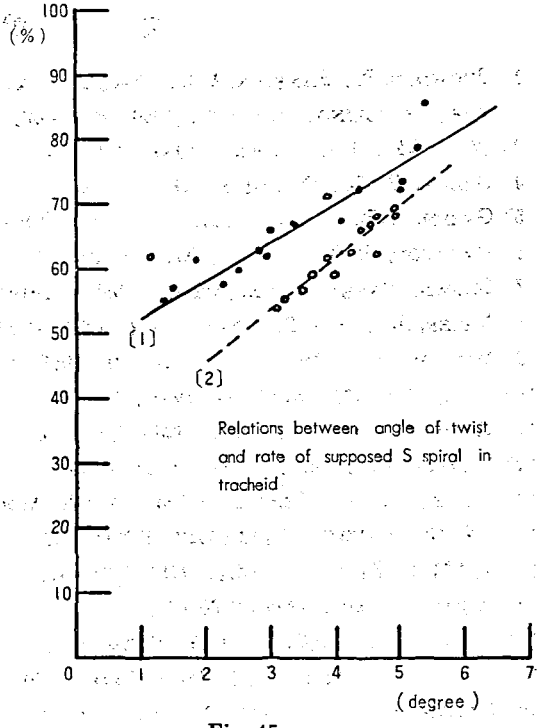


Fig. 15

C 総　　括

仮導管の微視螺旋構造のうちで比較的容易にしらべられるのは S_2 である。

単繊維における S_2 の傾角を射出線との直交部分の半重紋孔の傾きからその絶対値を測つたところ，樹心附近で 40°，第7～8年輪附近から代表値が35°に落ちることが判つた。この場合は春材柾目の S_2 の概略である。X線で測定した結果でも，板目で Sample もちがうけれども，春秋材ともはじめ平行度が悪くて後一定するようであつた。このことから，樹幹の回旋現象を説明しようとしても，特に回旋型SⅢ以下ねじれ角漸減後0となり，"ねじれかえし"が起つてSⅥまで及ぶ現象を説明する手がかりが少しもない。つまり回旋型或いは巨視ねじれ角の経過とくらべて見て有意の関係はありそうにない。

しかし S_2 につき同じ年輪，同じ春材，或いは秋材のうちに S(+)，Z(−) の二方向をもつ仮導管があることがわかつた。同時にその方向の百分率が樹幹のねじれ角の経過と何らかの関係があるらしく思われたのである。

このように木材組織において S_2 の微視螺旋構造に二つの方向があり得ることは実は他の事実からもうかがい得る。WARDROP[22] は同一仮導管内においてすら原繊維自身の"ねじれかえし" Unwinding をあて材で認めている (Plate 2, Phot. 5)。棉のリント表面の原繊維が同じような行動をすることはすでによく知られている。[36]

大切なことは S_2 の微視螺旋構造の方向の百分率がねじれ角の推移と有意の関係があると見て差支えなさそうなことである。このことは恐らく巨視螺旋構造が構成要素の方向相反し，絶対値においてあまり差がない力の影響下に生起せることを意味すると思う。

文　　献

1) BROWN, H. P., PANSHIN, A. J., FORSAITH, C. C. ; ibid., (1949), P. 92—93, etc.
2) FREY-WYSSLING, A. ; ibid., (1956), P. 31～47.
3) 原田，宮崎，若島 ; ibid., (1958), P. 31～47.
4) GREEN, P. B., CHAPMAN, G. B. ; ibid., (1955), P. 685～693.
5) GREEN, P. B. ; Amer. Jour. Bot., 45, 2, (1958), P. 111～115.
6) PRESTON, R. D. ; ibid., (1952), P. 91～101.
7) BROWN, PANSHIN, FORSAITH, ; ibid., (1949), P. 93.
8) MEIER, H. ; Holz Forschung, 11, 2, (1957), P. 42.
9) WILSON, K. ; Ann. Bot. N. S., 21, (1957), P. 1～11.
10) 細井駿雄 ; 木材工業, 13, 134, (1958), P.
11) CHAMPION, H. G. ; ibid., (1925), P. 20～23.
12) HARTIG, R. ; ibid., (1895), P. 312～326.
13) BAILEY, I. W., KERR, T. ; Jour. Arnold Arbor., 14, (1935), P. 273～300.
14) 小林弥一 ; 日林誌, 34, 12, (1952), P. 392～393.
15) 大倉精二，鳥山清美 ; ibid., (1951), P. 28～35.
16) 大倉精二 ; ibid., (1958), P. 66～77.
17) 小原亀太郎 ; 人絹界, 7, (1939), P. 306～317.
18) 尾中文彦，原田浩 ; 日林誌, 33, 2, (1951), P. 60～64.
19) NAGASAWA, T. ; Jour. Dep. Agr., Kyushu imp. Univ., 5, 5, (1937), P. 237～244.
20) 田中晋輔，室善助 ; 人絹界, 5, 12, (1937), P. 9.
21) 仁田勇 ; X線, 2, 3, (1941), 別刷, P. 111.
22) WARDROP, A. B. ; Austr. Jour. Scien. Reseach., Series B, 4, 4, (1951), P. 391～414.
23) 呉祐吉，久保輝一郎 ; 工業化学雑誌, 39, 11, (1936), P. 929～933.
24) 俣野仲次郎 ; 工業化学雑誌, 39, 12, (1936), P. 974～979.
25) KOLLMANN, F. ; Technologie des Holzes und der Holzwerkstoff, 1, (1951), P. 109～117.
26) 久保輝一郎，柳生孝賢 ; 工業化学雑誌, 47, 11～12, (1944), P. 934.
27) 仁田勇 ; X線結晶学, (1959), P. 3.
28) PRESTON, R. D. ; ibid., (1947), P. 48～55.
29) 山林暹 ; 木材組織学, (1958), P. 64～66.
30) 大倉精二 ; ibid., (1958), P. 61.
31) 例えば LIESE, W., FAHNENBROCK, M. ; Holz als Roh-und Werks., 10, 5, (1952), P. 197～201, 山林暹，岡崎光，金沢啓悟 ; 日本林学会中部支部講演集, (1956), P. 43～36.
32) 原田，宮崎，若島 ; ibid., (1956), P. 26.
33) 内海暢生 ; 高分子, 6, 231, (1958), P. 56～64.
34) 原田浩 ; 65回日本林学大会講演集，別刷, (1956), P. 3～5.
35) PRESTON, R. D. ; ibid., (1948), P. 158～165.
36) TRIPP, V. W., MOOR, A. T., ROLLINS, M. L. ; Textile Res. Jour., 27, 6, (1957),

P. 423.

37) 原田，宮崎，若島 ; ibid.,(1958), P. 56.

38) TOUMEY, J. W., KOSTIAN, F. ; Seeding and planting in the practice of forestry, (1943), P. 155.

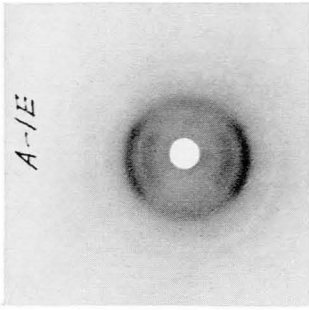
39) PRESTON, R. D. ; ibid., (1943).

40) 仁田勇 ; ibid., (1959), P. 287.

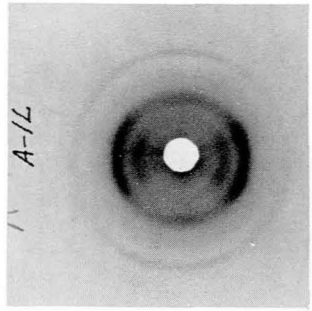
41) 同 ; ibid., (1959), P. 610-612.

42) 西山市三 ; 細胞遺伝学研究法, (1945), P. 161～164.

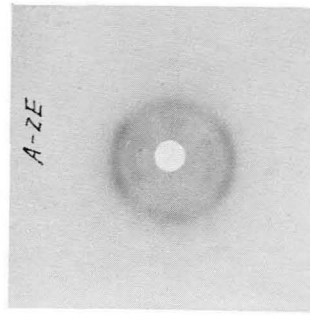
PLATE I



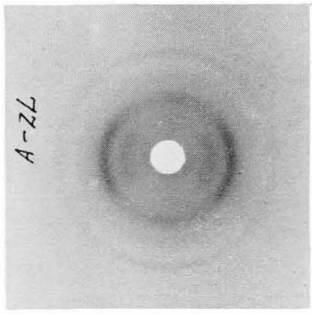
Phot. 1



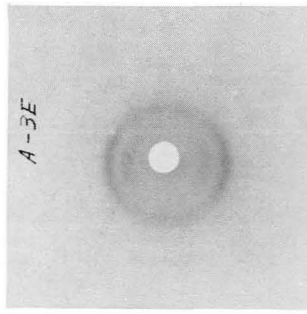
Phot. 2



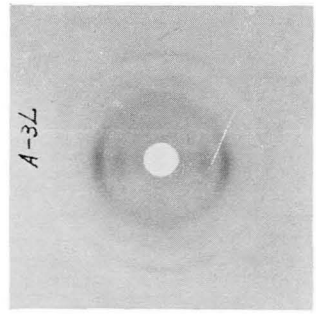
Phot. 3



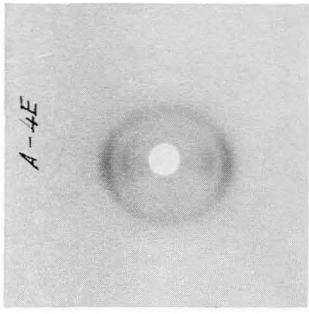
Phot. 4



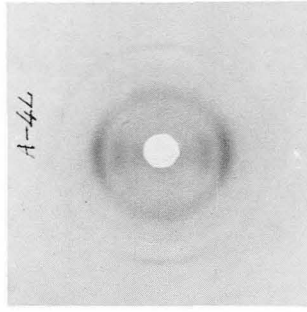
Phot. 5



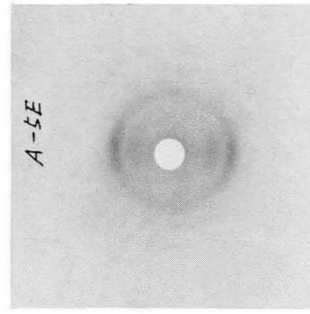
Phot. 6



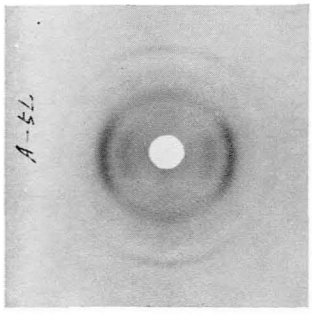
Phot. 7



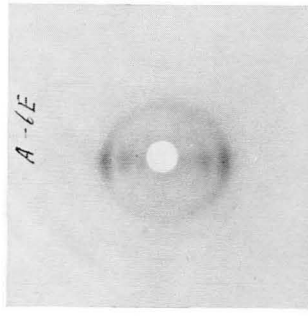
Phot. 8



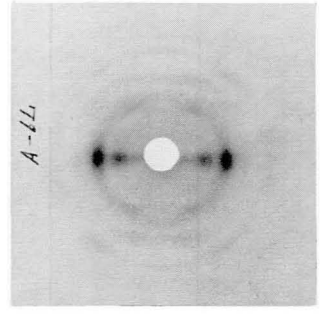
Phot. 9



Phot. 10

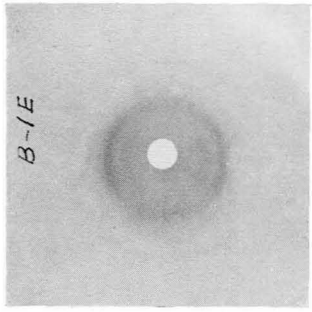


Phot. 11

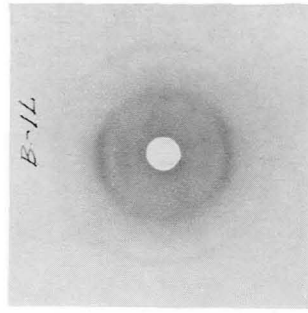


Phot. 12

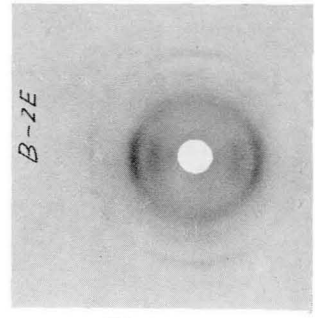
PLATE II



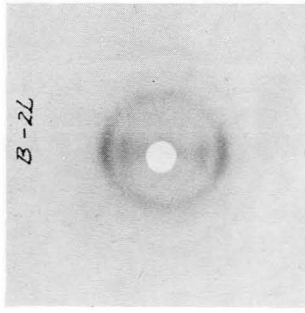
Phot. 1



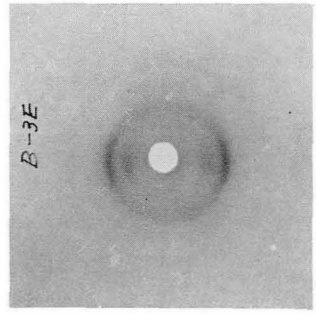
Phot. 2



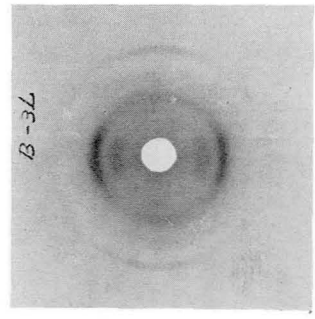
Phot. 3



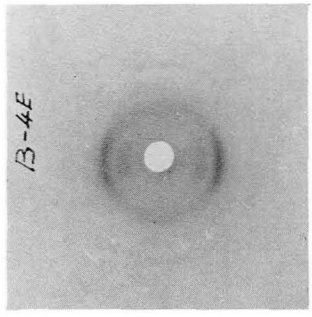
Phot. 4



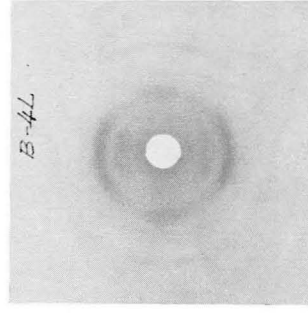
Phot. 5



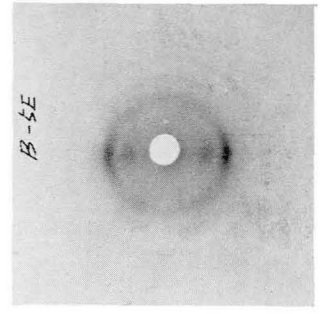
Phot. 6



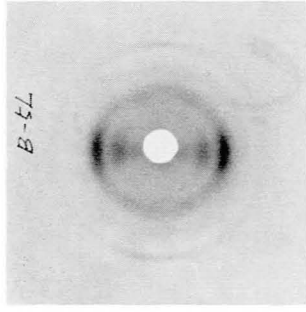
Phot. 7



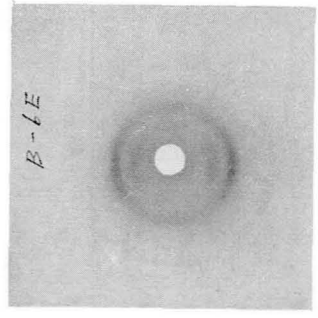
Phot. 8



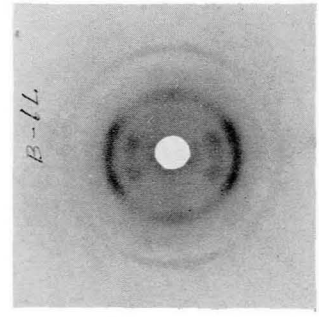
Phot. 9



Phot. 10

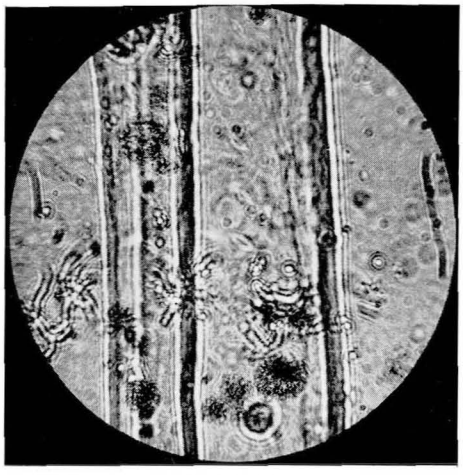


Phot. 11

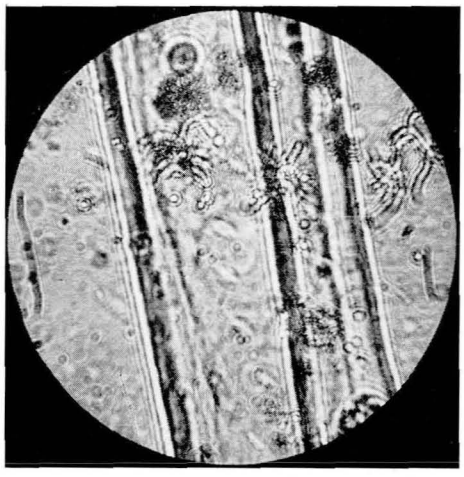


Phot. 12

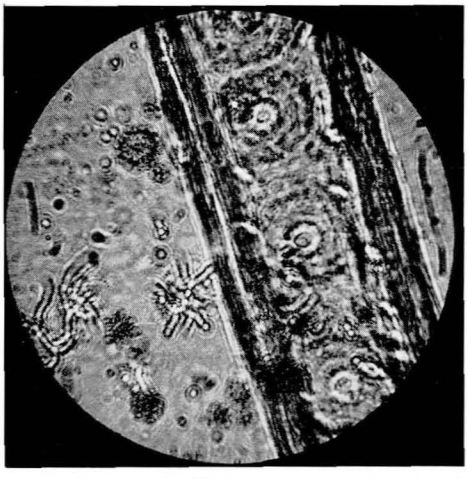
PLATE III



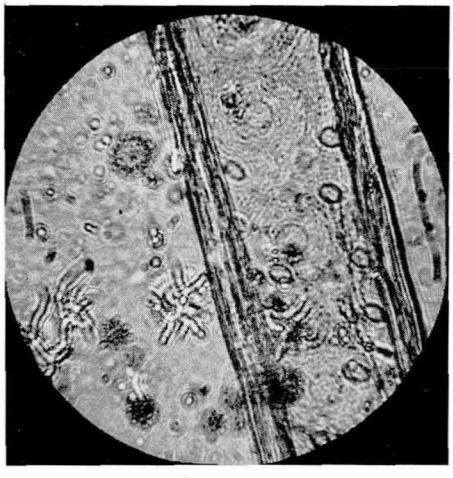
Phot. 1 ×1,500



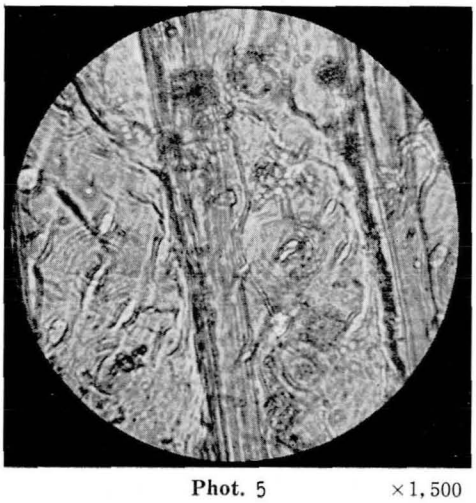
Phot. 2 ×1,500



Phot. 3 ×1,500



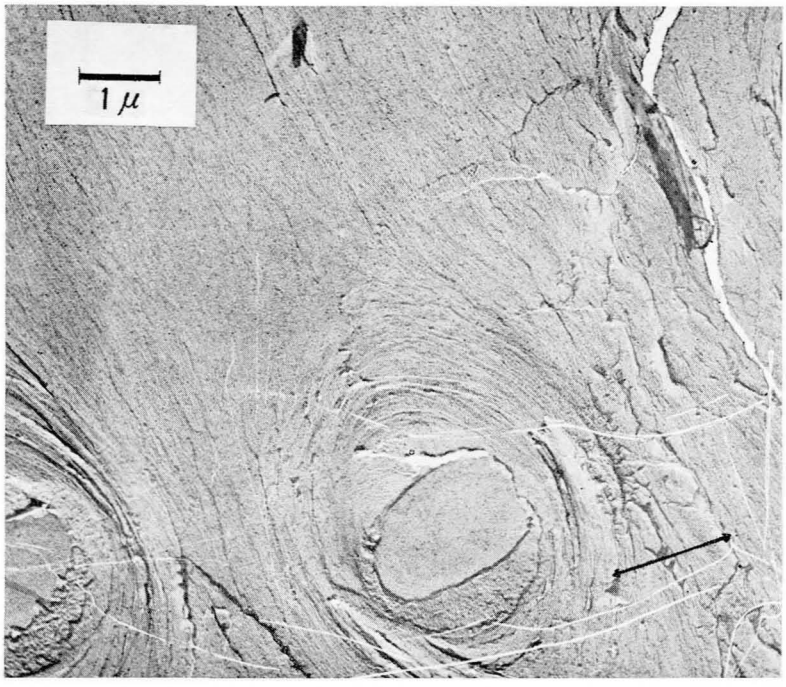
Phot. 4 ×1,500



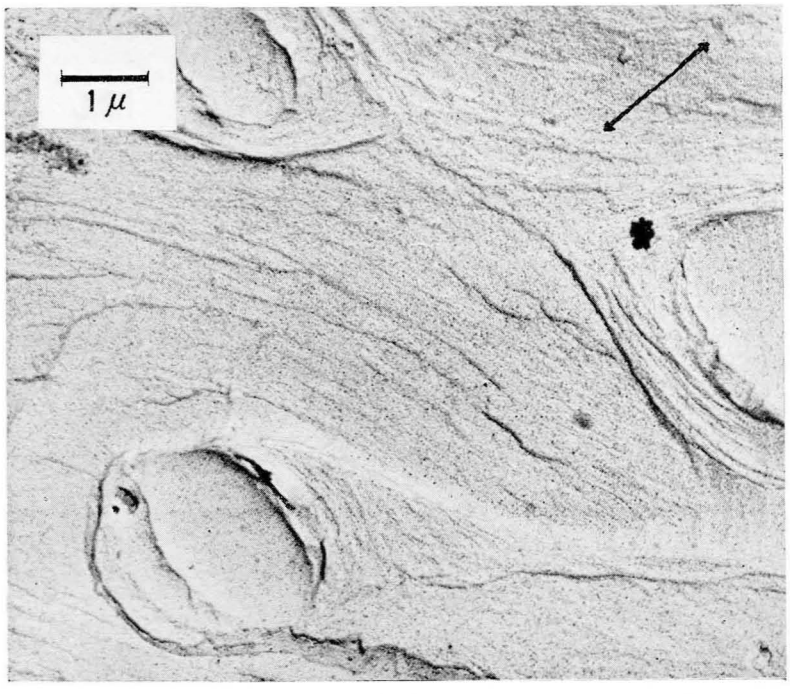
Phot. 5 ×1,500

Phot. 6 ×1,500

PLATE IV

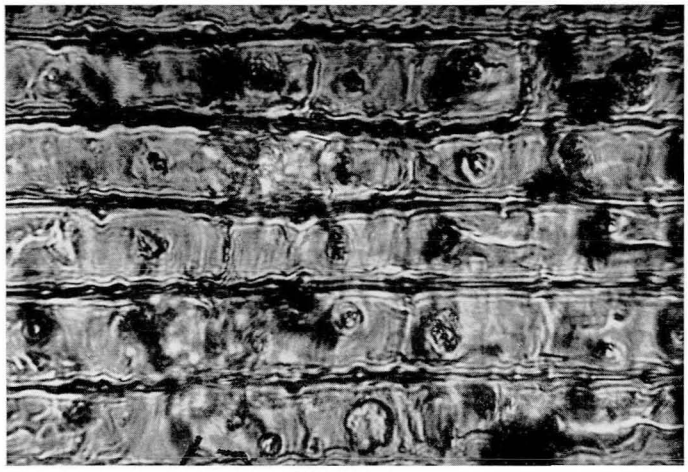


Phot. 1

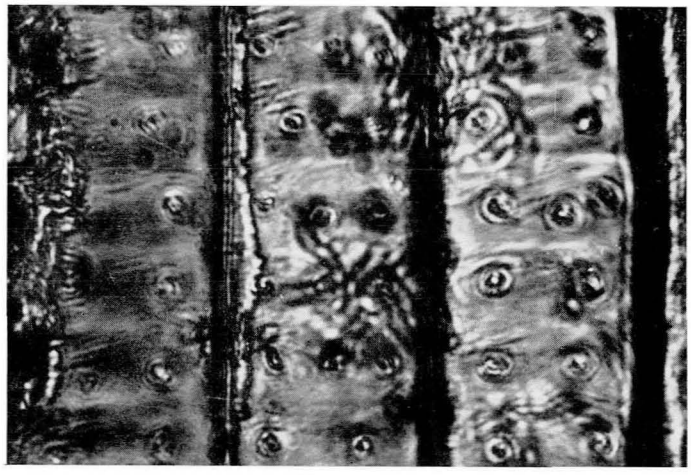


Phot. 2

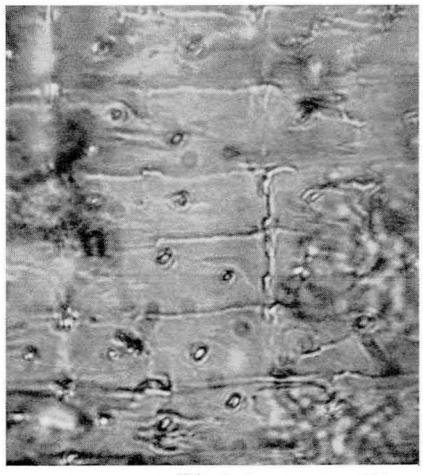
PLATE V



Phot. 1 ×600



Phot. 2 ×600



Phot. 3 ×600

Phot. 4 ×600

Ⅳ 正常回旋材の乾燥ねじれ

回旋材からの挽材は著しい狂いを示すという[1)2)]。この場合の回旋材とは異常回旋材をさすものであるかどうか判らない。しかし正常回旋材も勿論狂うし，ねじれ狂いもする。筆者の回旋生長をしらべる機縁は，一般に著しい回旋木理を示すカラマツが，挽材の狂いがひどいため利用が限定されている事実であつた。おもに本学構内に自生していたアカマツ材で建てた旧校舎（1946年冬より翌年春に伐採，1948年4月1日竣功）について1956年12月10日に調査したところ，長さ10尺，3寸8分の角柱52本の上端における見かけの乾燥ねじれ角はつぎのようであつた。Plate Ⅵ，Phot. 1 は S10° を示している。

Table 3 Apparent angle of twisting pillar observed in our former school.

Apparent angle of twisting warp (degree)	*−1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Number of pillar	1	3	7	9	6	12	8	3	2	0	0	1	52

*(−) : Z twist.

従来乾燥にさいして木材が示す異方性は主として放射，切線，軸方向に関し挽材について研究され，つとにねじれ狂いが製品として難物視されていたにも拘らず，丸太における収縮に伴なうねじれ狂いが研究されたことはごく稀である。H. KUNUCHEL[3)] が空中湿度の変化が電柱腕木の方向を変えるために遠距離送電にあたり不利に働くと言つているのは，後述する H. BURGER の実験に基づいている。野崎毅氏の書簡によれば，本邦でも大正年間に逓信省で電柱用材の調査を行つたさいに，辺材が腐朽しやすいのと，ねじれ狂いのゆえにカラマツが問題となつた，そのさいの記録は終戦時亡失した由である。

筆者はカラマツのねじれ狂いの程度，S回旋樹種とZ回旋樹種における乾燥収縮のさいのねじれ狂いの方向関係，ねじれ狂いと回旋型との関係に興味をもつた。又繊維回旋の機構を見るにあたつては模型的研究が欠くべからざるものと考えたが，失敗をくりかえした後，無きずの小丸太は一種の模型と見なされると考えるに至つた。

丸太のねじれ狂いについて計測を行つたのは，筆者にわずか先行して前述 BURGER[4)] がある。彼は *Fichte* 及び *Tanne* について回旋状況の報告を終ると同時に1943年から1945年まで防腐剤を注入した電柱について予察を行い，1945年から1947年まで計測を行つた。予察は防腐工場の貯木場で250本を対象にして行われた。防腐，剝皮後，外面が乾燥してから貯木場にはいづみされたまま，元口と末口に樹心を通りそれぞれ垂直線を設けた。一定期間毎に（1～3ヶ月後）錘りを具えた分度器で両端の直径が垂直線からずれた角度を測る。2ケ年引き続き測られたのは10本であつた。内6本は外観S回旋，2本通直，2本Z回旋であつた。外観S回旋の電柱は，乾燥によつて最初の方向から平均10° 最高17° ねじれた。外観通直な場合は内部のS回旋繊維に影響され，S方向にねじれるが乾燥ねじれ角は前者に比して少ない。外観Z回旋の場合は，S回旋材に比してはる

かにねじれ狂いが少く，回旋方向は反対の場合が多いと。このことは1945年に5本の電柱を野外に立て，腕木の位置を地上 10m とした計測の結果でも同様であつた。S方向に回旋している内部の材のZ方向に回旋している外部材に対する影響を量的に握むことは困難である，電柱の内部が外部と同じ湿度を示すのは例外ゆえなおさらそうであると。[4)]

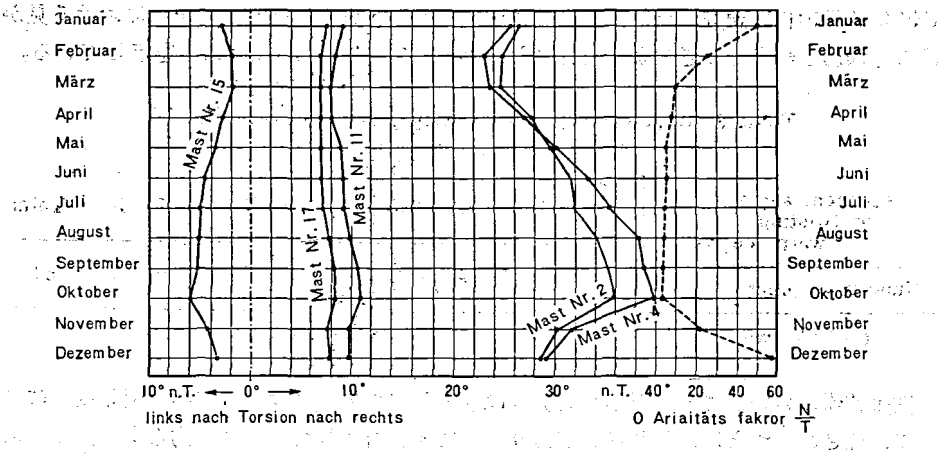


Fig. 16 Verdrehung von stehenden Masten, die nicht in eine Leitung eingespannt sind, bei verschiedenem äußerlichem Faserverlauf, im Mittel von 5 Jahren

Äußerliche Faserdrehung:

Nr. 2: 4° links
Nr. 4: 6° links
Nr. 11: 0°
Nr. 15: 6° rechts
Nr. 17: 3° rechts

(Nach Burger)

BURGER の外観Z回旋の材は，*Abies* 属，*Picea* 属が元来S回旋であるゆえ，ねじれかえしを行つているのである。ゆえに Fig. 17 で示したように，この場合には基部と上部とでは繊維回旋の方向が相反していることに注意しなければならぬ。さらにこの場合では気乾材から始まつていること，及び Fig. 16 の BURGER の実験結果では，ねじれ狂いの方向が末口で見て，樹心に対して言いあらわしていることである。Nr. 4 は10月に地上 10m で，電柱表面から見てS方向に 40° ねじれたことを示しているのである。

A 1952年の実験

1 材料及び実験方法

供試木 No. 1 実験のために新らたに伐採した本学構内に植栽されていたカラマツ

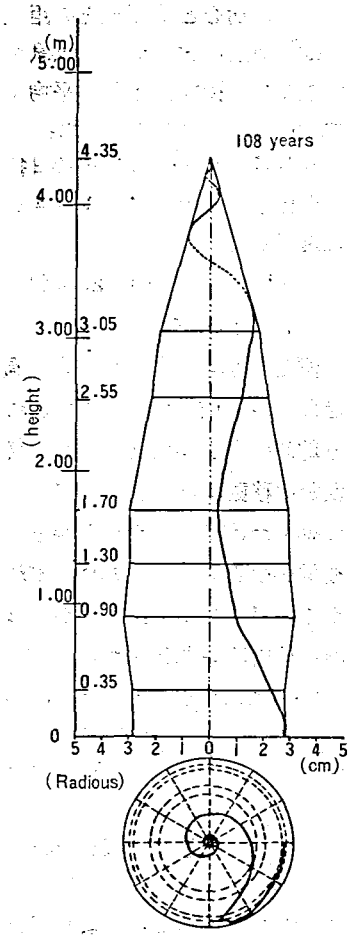


Fig. 17 Plan and elevation of unwinding twist in a trunk of *Pinus pumila*.

(樹高17.34m, 元口直径21cm, 推定樹令43年)。

供試木 No.2 同じく本学構内に自生したアカマツ *Pinus densiflora* S. et Z. (樹高14.30m, 元口直径30cm, 推定樹令45年)。

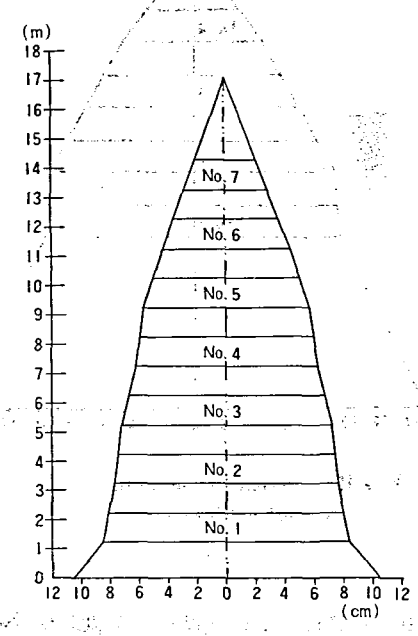


Fig. 18 Portion of sampling (*Larix Kaempferi*).

Fig. 18, 19 に示した位置から長さ1.00mの供試材をとつた。さらに 供試木 No.1 から7個, No.2 から4個の円盤をとる。円盤高10cm, これは従前通り割裂法により回旋状況を見るために用いた。

(1) 供試材の両端に平行な直径を設定し, 直径上等距離の2点に針を打ち込む。

(2) 供試材は実験室内の壁に平行におき, 壁上に 1mm 目盛りの方眼紙を貼布した。供試材を水平に保つて計測するため試材台に若干の工夫をした。

(3) 両端にスリットの付いた長さ約25cmの木製定規をつくり, 供試材両端の2針にあてがつて視線延長上の目盛りを読む。

(4) 乾燥が進むと針は変位する。これらの読みをA及びBとすると乾燥ねじれ角 θ は次式で与えられる。

$$\theta=\tan^{-1}\left(\frac{B-A}{l}\right)$$

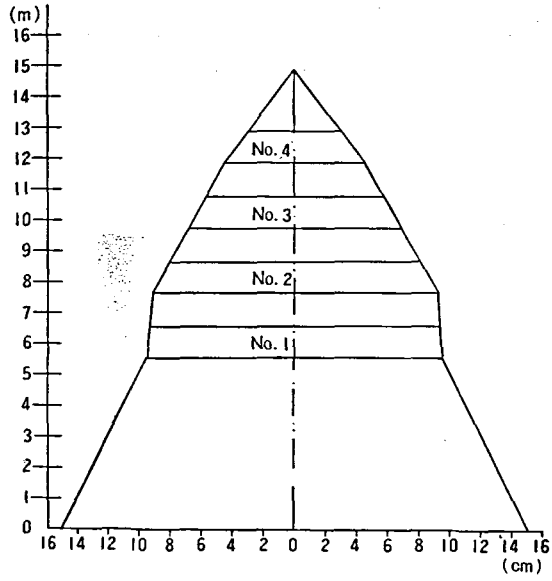


Fig. 19 Portion of sampling (*Pinus densiflora*)

l は樹心と方眼紙との距離。

(5) 以上の測定直前に供試材の重量を台秤で測定し，平均含水量の算出データに用いた。

6月17日から概ね10～15日毎に測定をつづけ，翌年1月4日に終了した。

(Plate VI, Phot. 2, 3, 4)

2 測定結果

測定誤差は理論上5′程度に過ぎないが，乾燥につれて現われる乾裂の影響が大きかつた。又動針の移動は直径を夾んで均一に動くわけでもなかつたから，視線が樹心から多少外れる怖れがないでもなかつた。しかし概略の傾向は察知出来た。

Fig. 20, 21 からカラマツについては次のことがわかる。

(1) 最大の乾燥ねじれ角は梢頭部供試材 No. 7 で，S 3.3°となつており，10m につき 33° である。

(2) 供試材 No. 4 は回旋型SⅢで地上高8.25mの位置であるが，乾燥ねじれ角±10′以内，ほとんど狂いはない。

(3) 乾燥の初期及び後期におけるねじれ狂いの方向について整理すると次のようである。

Table 4—1 Initial and terminal twisting warp with reference to type of twist. (*Larix Kaempferi*).

Specimen	1	2	3	4	5	6	7
Type of twist on both rads.	SV	SⅢ&V	SⅢ&Ⅳ	SⅢ	SⅢ	SⅢ	SⅡ
Direction of twist at outer surface	O～Z	S&Z	S&O	S	S	S	S
Initial direct. of twisting warp	Z	Z	Z	S	S	S	Z
Terminal direct. of twisting warp	Z	Z	Z	Z	S	S	S

すなわち樹幹基部と梢頭部では回旋型を異にすると共にねじれ狂いの方向が相反する

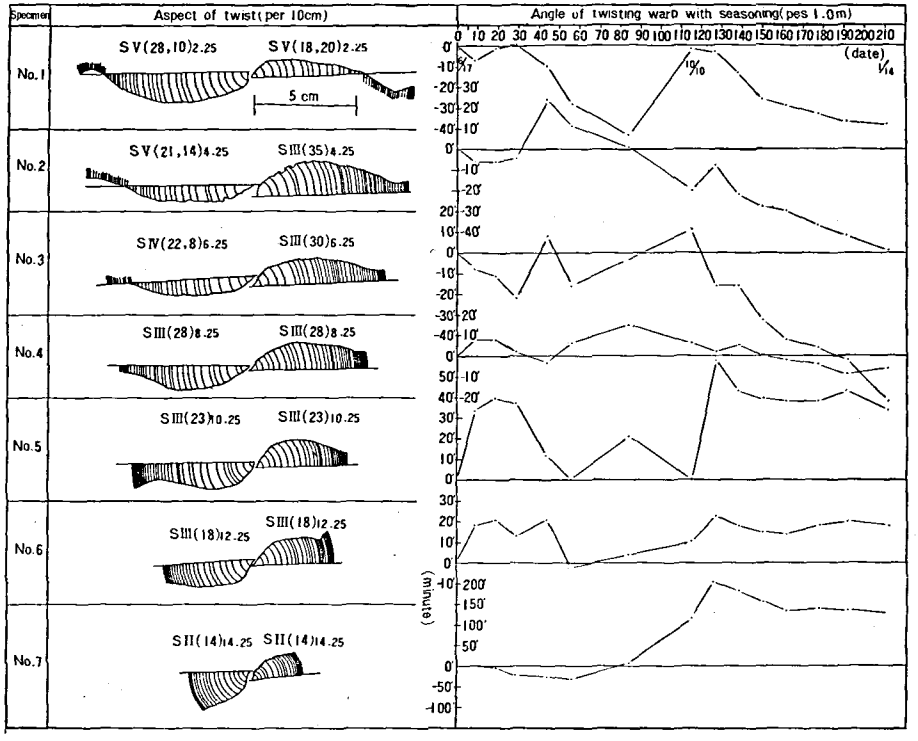


Fig. 20 Variation of angle of twisting warp refered to the aspect of macrospiral construction of specimen (*Larix Kaempferi*).

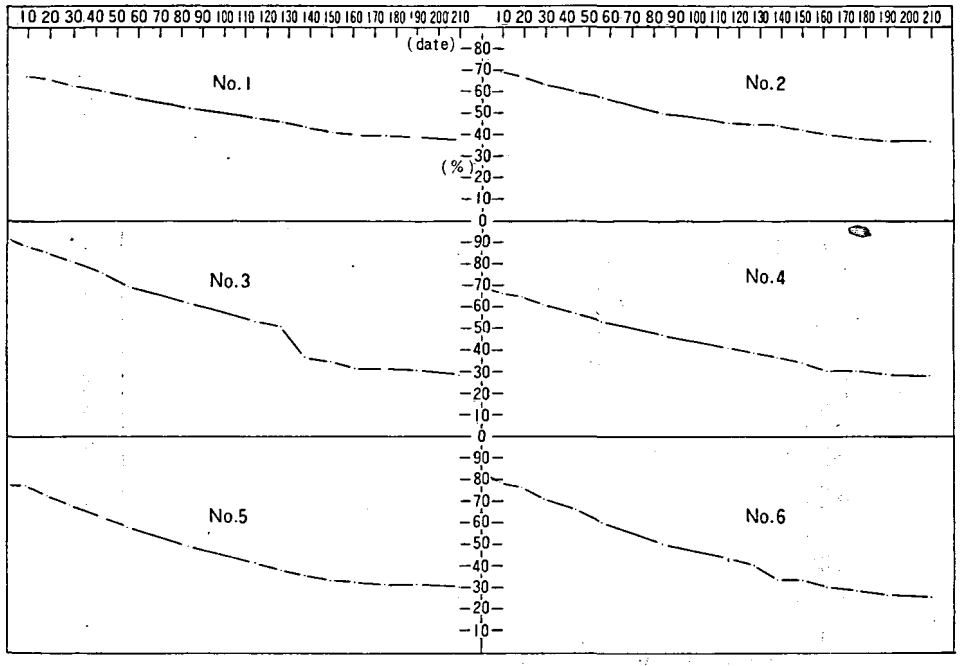


Fig. 21 Variation of water content $\{(W_u-W_o)/W_o\}\times 100$ during observation (*Larix Kaempferi*).

傾向がある。樹幹表面に則して言えば基部は繊維回旋Z方向，後期のねじれ狂い方向Z，梢頭部繊維回旋方向S，後期ねじ狂い方向Sである。カラマツのねじれ狂い方向は，それゆえに樹幹表面の繊維回旋と同方向の如く見られる。

(4) ところが No. 4 と No. 7 は初期及び後期のねじれ狂い方向が相反していて，問題を後にのこす。

アカマツについて言うと Fig. 22, 23 から，

(1) 梢頭部で回旋型S II，最大の乾燥ねじれ角はS2.0° 10m につき 20° で更に上昇の気配がある。

(2) No. 1 及び No. 2 は回旋型S III 及びS IVで，初期においてS方向にねじれた後ほとんどねじれ狂いを示さなかつた。

(3) カラマツに比すると樹幹のねじれ角と同様乾燥ねじれ角の値はおおむね小で，変動も単調である。

(4) 乾燥初期及び後期におけるねじれ狂いの変化は Table4—2 であつて，No. 3 はカラマツの場合と同じように初期及び後期のねじれ狂い方向相反する。

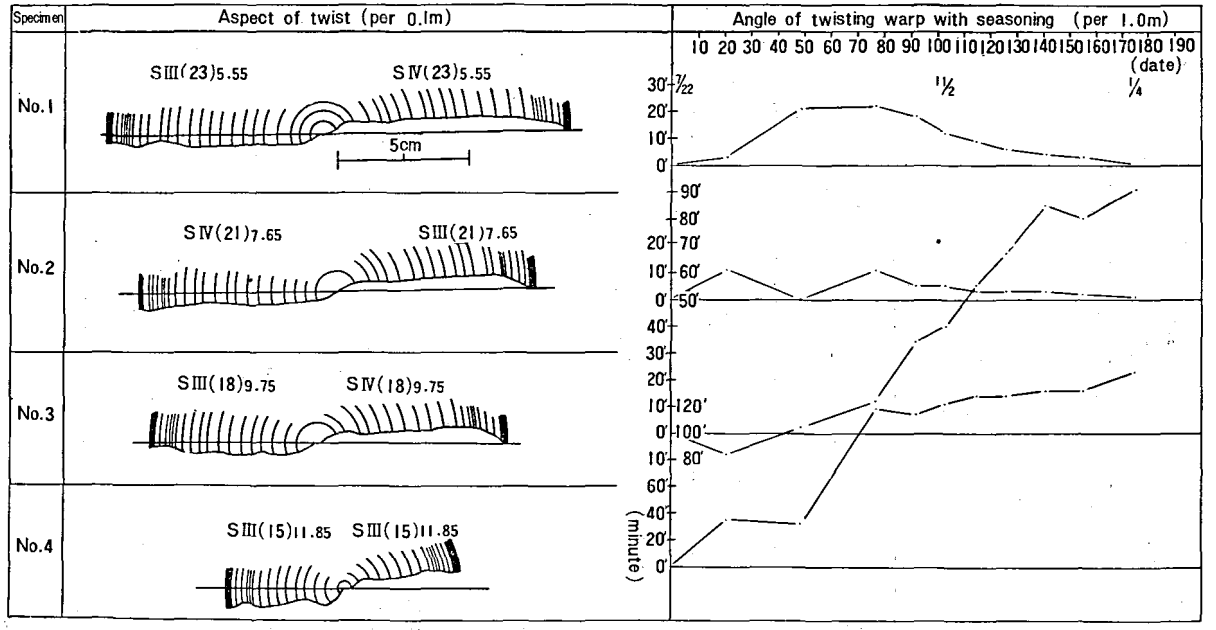


Fig. 22 Variation of angle of twisting warp refered to the aspect of macrospiral construction of specimens (*Pinus dinsiflora*).

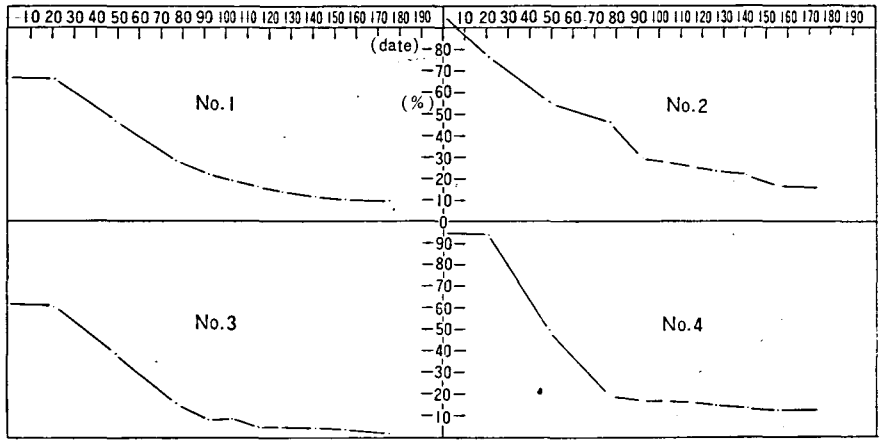


Fig. 23 Variation of water content $\{(W_u-W_o)/W_o\}\times 100$ during observation (*Pinus densiflora*).

Table 4—2 Initial and terminal twisting warp with referfnce to type of twist (*Pinus densiflora*).

Specimen	1	2	3	4
Type of twist on both rads.	S III&IV	S III&IV	S III&IV	S III
Direction of twist at outer surface	S&O	S&O	O	S
Initial direct. of twisting warp	S	Z	Z	S
Terminal direct. of twisting warp	O	S	S	S

B 1953年の実験

1 材料及び実験方法

供試木はカラマツ一本で，本学構内から伐採した。

(樹高 12.15m，元口直径 18.20cm，推定樹令47年)。

供試材の採取箇所は Fig. 24 に示してある。

前年の方法を踏襲したけれども，樹心を通る直交する直径を末口，元口に設けた。動針は樹心と，樹心を夾み各2個づつ打ち込んだから，1本の供試材につき10個を備えることになる。定規は樹心と4個の動針にそれぞれ宛てがつて目盛りを読みとる。データは4個の読みの平均とした。この方法によると特定半径上の回旋型に基く特異な動きが相殺される。

5月25日から10～15日毎に測定をつづけ，同年10月5日に止めた。平均含水量の測定は前年同様である。

2 測定の結果

本年も両断面に多数の乾裂が現れたが，データを混乱させたにはちがいないが，概略のことはわかると思う。Fig. 25, 26 によれば，

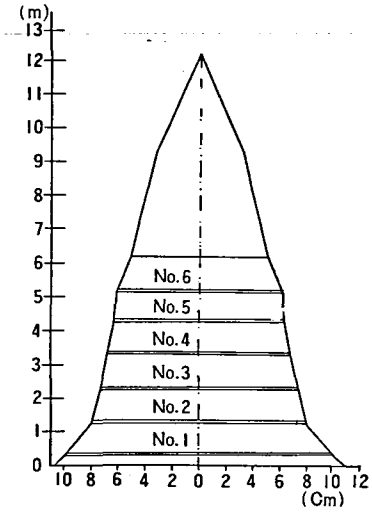


Fig. 24 Portion of sampling.

(1) 最大の乾燥ねじれ角は1.00mにつきZ1.5°で10mでは15°になる。

(2) No.3及びNo.5の乾燥ねじれ角は±10′以内でほとんど狂いはなかつた。

(3) 回旋型はSⅢ，SⅣ，又はSⅤで，SⅢはほとんどSⅣと見てよい場合が多い。ねじれ狂いの方向は一例を除きZ方向である。これを表示すると，Table4—3となる。

梢頭部の供試材を欠いている関係で1952年の場合と著しい対照をなし，結果は複雑である。No.3以外は後期にZ方向か或いはその傾向を示している。

(4) 表面通直な場合は初期にS或いはZ方向のねじれ狂いを示す。

1952年及び1953年の測定は滝沢徳四郎，坂本行平両君の援助によつた。

Table 4—3 Initial and terminal twisting warp with reference to type of twist (*Larix Kaempferi*).

Specimen	1	2	3	4	5	6
Type of twist on both rads.	SⅢ&Ⅳ	SⅢ&Ⅳ	SⅣ	SⅤ	SⅢ&Ⅳ	SⅢ&Ⅳ
Direction of twist at outer surface	O	S&O	O	Z	S&O	S&O
Initial direct. of twist. warp	Z	S	S	Z	S	S
Terminal direct. of twist. warp	Z	Z	S	Z	Z	Z

C 1957年の実験

以上2ケ年間の実験はある意味では予察と言つてよい。試料の行動は全たく予想出来なかつた。これら1.00m材，中径木の実験が乾裂に妨げられたのにかんがみて，無節通幹の小径木について実験することにした。この度はS回旋材としてアカマツ，Z回旋材としてヒメコマツをえらんだ。*Pinus* 属にしたのは，採取に便であつたばかりでなく，節間に障害がないためである。

1 材料及び実験方法

アカマツ本学構内産，Table 4—4の通り。

ヒメコマツ *Pinus parviflora* S. et Z.

(*P. pentaphylla* Mayr. var. *Himekomatsu* MAKINO)

長野県下伊那郡上久堅村豆沢　本学砂防実習林産。

4月20日伐採，直後ビニール袋の中に密封供試した。供試材採取位置は Fig. 27 の通り。実験の方法は趣を変えて次のようにした。

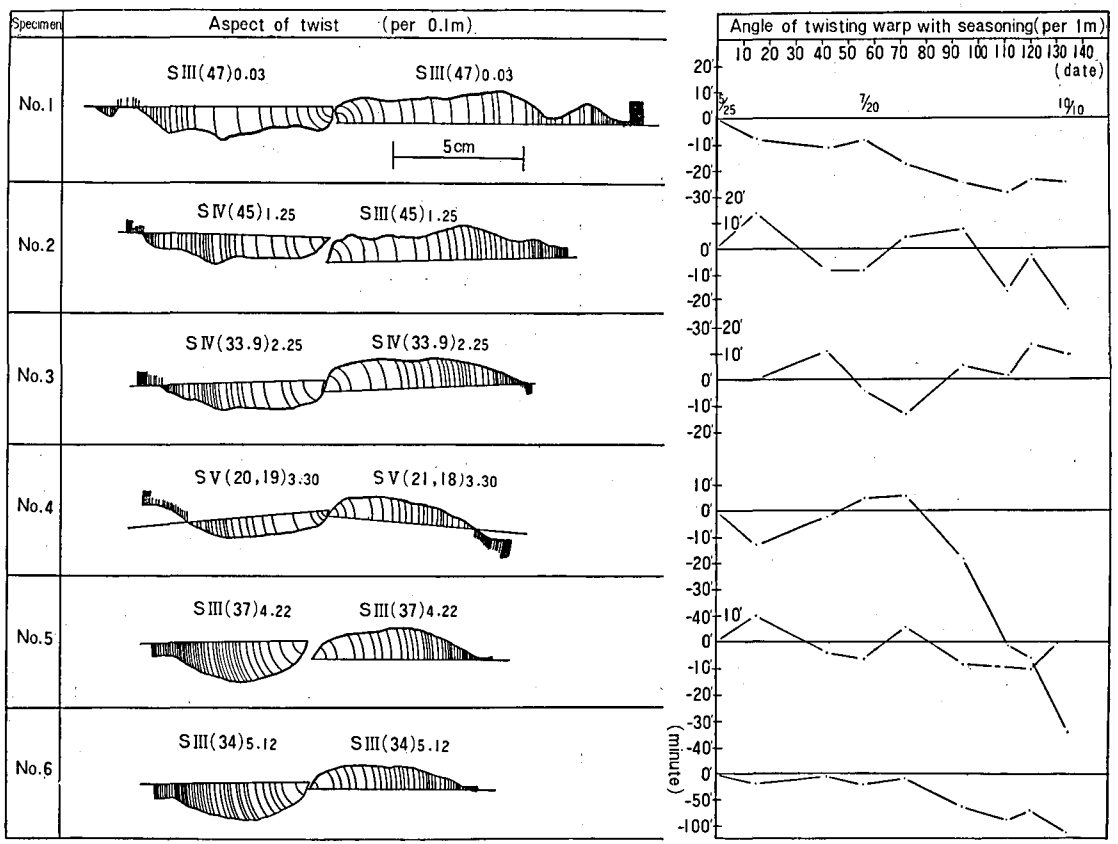


Fig. 25 Variation of angle of twisting warp refered to the aspect of macrospiral construction of specimens (*Larix Kaempferi*).

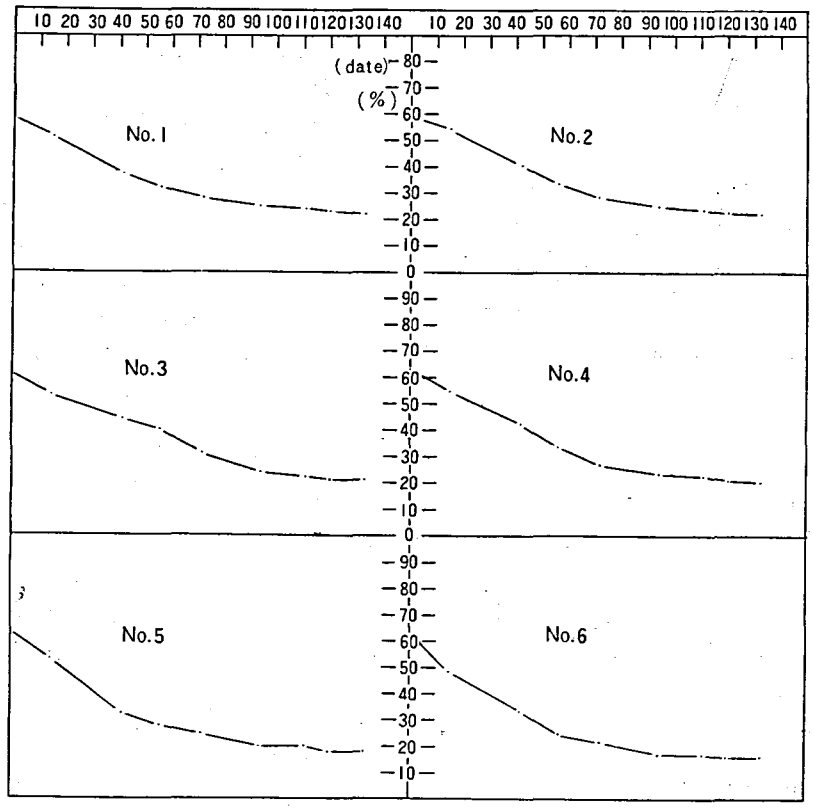


Fig. 26 Variation of water content $\{(W_u - W_o)/W_o\} \times 100$ during observation (*Larix Kaempferi*).

Table 5

Species	Specimen	Length	Dia. (smaller end)	Weight	
				G_1, begining of obs.	G_2, end of obs.
Pinus densiflora	1	30cm	7.0cm	1,320gr	600 gr
	2		6.0	1,020	440
	3		5.0	800	345
P. parviflora	4	30	8.5	1,850	745
	5		8.2	1,580	660
	6		7.5	1,375	580

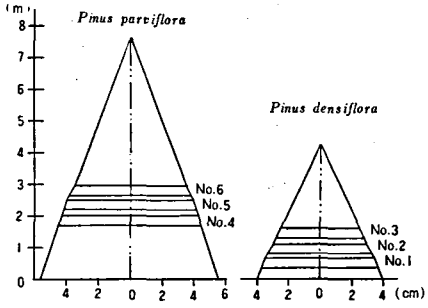


Fig. 27 Portion of sampling

(1) 供試材を動かない支持台上に元口を下に固定する。固定には 10cm の釘を 3 個用いた。

(2) 鋏（かすがい）状の針金の一端に平面鏡をセットさせる枠をハンダづけし，鏡のある一端は樹心に，他端を供試材に少しく差し込む。鋏の両脚の距離は約 2.5cm。供試材の末口がねじれると鏡面が変位する。

(3) 平面鏡は写真乾板を真空蒸着器の鐘内でクロム表面鍍金したから，像がダブる心配はない。

(4) カセトメーターに光源を内蔵する望遠鏡を固定し，光源とレンズの間に叉線を設けた。

(5) 測定開始に当つて平面鏡の位置につき基準線を鏡の方向に供試材の数だけ設けておく。

(6) 望遠鏡内の叉線の像を基準線に合せた後，変位した平面鏡に写し，その時の反射像を記録紙に写し，乾燥ねじれ角の計算に資する。乾燥ねじれ角は長さの単位として表わされるから換算を必要とするのである。

計測は概ね毎週 1 回。6 月14日にはじまり，12月14日に了つた。No. 2 及び No. 6 は平面鏡の故障のためそれぞれ10月11日，10月24日で止めた。

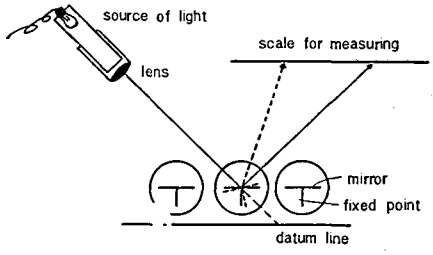
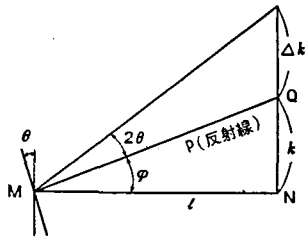


Fig. 28 Device for measuring angle of twisting warp.

この方法は光挺子の理を応用した MARTENS[5] の伸び計のアイデヤを利用したもので，平面鏡の乾燥ねじれ角 θ は 2θ として投射される。そのときの記録紙上長さの読みと θ との関係は次のようである。

i）理　論　式



Δk を供試材が θ radian 回転したために生ずる記録紙上のくるいの価，

p を反射線の長さ，l を鏡面と記録紙との最短距離，

θ を乾燥ねじれ角，φ を p と l とのなす角とすれば次式が成り立つ。

$$\tan(2\theta+\varphi)=\frac{k+\Delta k}{l}$$

$$\tan(2\theta+\varphi)=\frac{\tan 2\theta+\tan\varphi}{1-\tan 2\theta\tan\varphi}=\frac{k+\Delta k}{l}$$

$$\frac{\tan 2\theta+\dfrac{k}{l}}{1-\dfrac{k}{l}\tan 2\theta}=\frac{k+\Delta k}{l}$$

$$\tan 2\theta+\frac{k}{l}=\frac{k+\Delta k}{l}\left(1-\frac{k}{l}\tan 2\theta\right)$$

$$\left(1+\frac{k^2+k(\Delta k)}{l^2}\right)\tan 2\theta=\frac{\Delta k}{l}$$

$$\tan 2\theta=\frac{(\Delta k)\ l}{l^2+k^2+k(\Delta k)}$$

$$l^2+k^2=p^2$$

$$\therefore\quad \tan 2\theta=\frac{(\Delta k)\ l}{p^2+k(\Delta k)}$$

θ は孤度法による角なる故に $\lim_{\theta\to 0}\dfrac{\tan 2\theta}{\theta}=2$ 即ち $\theta\fallingdotseq 0$ ならば $\tan 2\theta\fallingdotseq 2\theta$
よつて

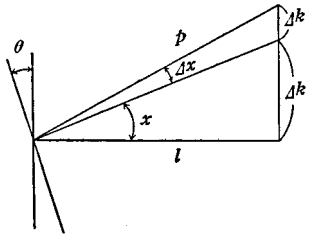
$$2\theta\fallingdotseq\frac{(\Delta k)\ l}{p^2+k(\Delta k)}$$

$$\therefore\quad \theta=\frac{(\Delta k)\ l}{2\{p^2+k(\Delta k)\}} \qquad \cdots(1)$$

(1)式は60分法で約5° 位までの微小角に対して使える。

ii) 近　似　式

図において，



$$\tan x=\frac{k}{l}\quad 又は\ x=\tan^{-1}\frac{k}{l}$$

$$\therefore\Delta x=\frac{\dfrac{1}{l}}{1+\left(\dfrac{k}{l}\right)^2}\Delta k$$

$$=\frac{l}{l^2+k^2}\ \Delta k=\frac{l}{p^2}\Delta k$$

$$\therefore\quad x\fallingdotseq\frac{\Delta k}{p}\qquad(\because p\fallingdotseq l)$$

$$\Delta x=2\theta$$

$$\therefore\quad \theta=\frac{\Delta k}{2p} \qquad \cdots(2)$$

2　測定の結果

(2)　式に必要なデータを測つて得た結果は Fig. 29, 30 である。乾裂は認められなかつた。

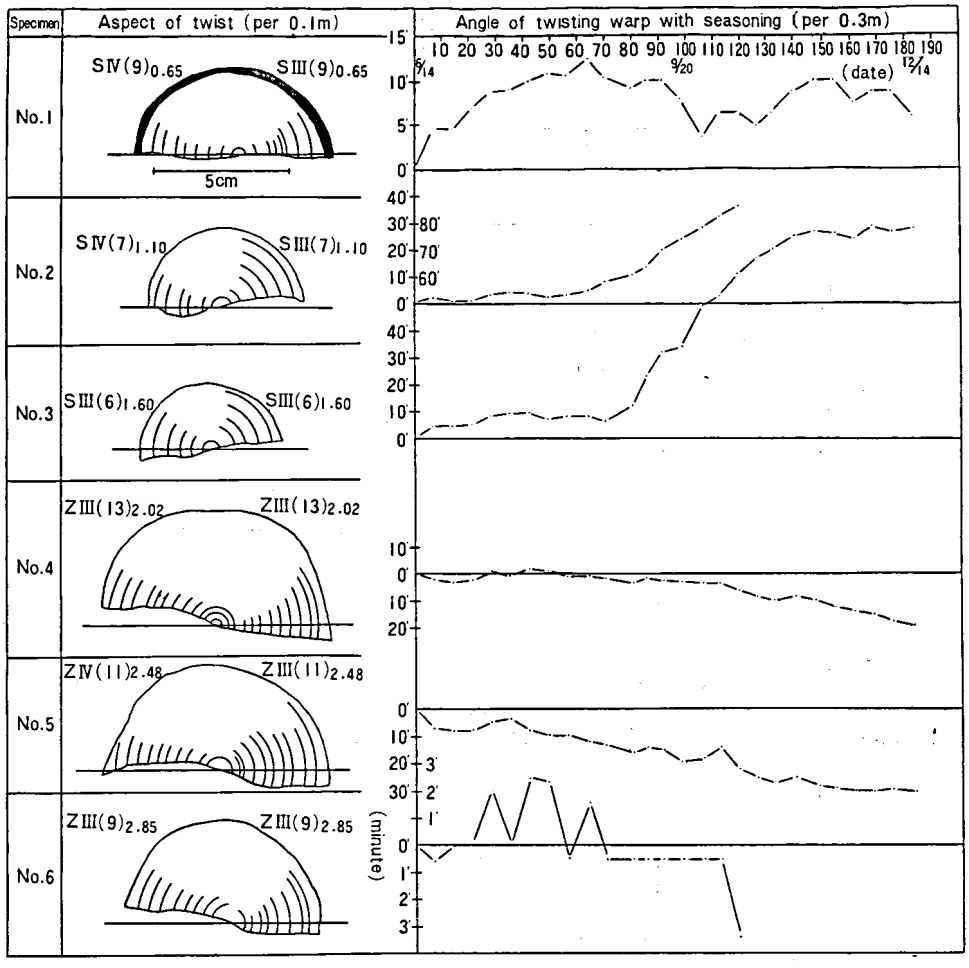


Fig. 29 Variation of angle of twisting warp refered to the aspect of macrospiral construction of specimens. (No. 1~No. 3; *Pinus densiflora*) (No. 4~No. 6; *Pinus parviflora*)

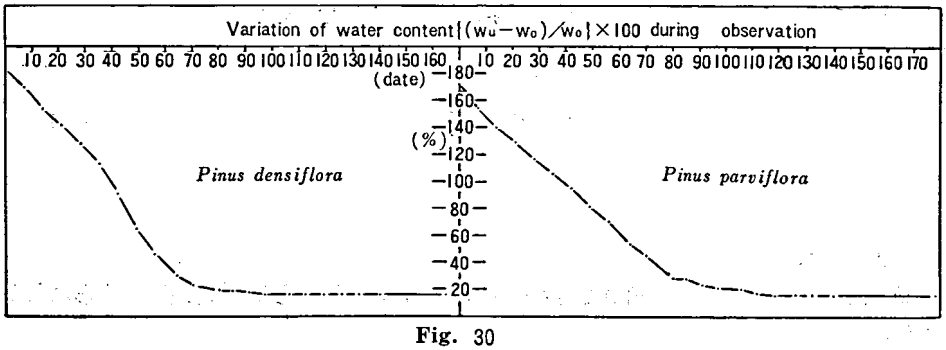


Fig. 30

(1) 最大乾燥ねじれ角はアカマツNo. 2で30cmについて1°20′，10mにつき34°である。

(2) 平衡含水率には 100日あまりで達したが，その以前からねじれ狂いの傾向は安定した。

Table 4—4 Initial and terminal twisting warp with reference to type of twist.

Species	Specimens	Type of twist on both radious	Direction of twist at outer surface	Initial direct. of twisting warp	Terminal direct. of twisting warp
P. densiflora	1	SIII&IV	O&S	S	S
	2	SIII&IV	O&S	S	S
	3	SII&SIII	S	S	S
P. parviflora	4	ZIII	Z	Z	Z
	5	ZIII&ZIV	Z&S	Z	Z
	6	ZIII	Z	Z	Z

(3) アカマツは初期にも後期にもS方向に，ヒメコマツは初期にも後期にもZ方向にねじれ狂つた。つまりこの場合は例外なく繊維回旋の方向にねじれ狂いが起つた。

この計測には小沢勝治君が当つた。

D 1958年の実験

S回旋樹種，Z回旋樹種のねじれ狂い方向について，さらに前年の追試を行うために樹種を追加した。

1 材料及び実験方法

アカマツ，ヒメコマツの外

ウラジロモミ *Abies homolepis* S. et Z.

ネズコ *Thuja Standishii* Carr.

ハイマツ *Pinus pumila* Rgl.

追加した3種はどれも本学西駒演習林産で，供試木のデータ及び供試材採取位置はTable 6 及び Fig. 31の通り。＊印は生材のまま防腐処理を施したものであるが，結果としてほとんど影響を見ていないのでそのままTableに加え，処理方法も省略する。

測定は7月1日から12月12日までで，那須成利君が当つた。

Table 6

Species	Specimens	Length	Dia. (smaller end)	Weight	
				G_1, begining of obs.	G_2, end of obs.
Pinus densiflora	1	30cm	6.2cm	1120 gr	550 gr
	2	30	5.7	975	500
	3	30	5.1	900	350
	4	30	4.5	640	290

Pinus parviflora	5	30cm	7.0cm	1300 gr	670 gr
	6	30	6.5	1100	520
	7	30	5.0	900	465
	8	30	4.8	650	300
Abies homolepis	9	30	7.0	1310	670
	10	30	6.2	1100	550
	11	30	6.2	1140	530
	12	30	6.0	950	450
Thuja Standishii	13	30	8.5	1145	735
	14	30	7.6	995	650
	15	30	6.8	1160	540
	16	30	5.7	600	390
Pinus pumila	17	30	6.0	1040	680
	18	30	8.7	1490	1055
	19	30	6.5	1006	640

この実験では供試材の列が長いため前年の近似式では少しく誤差が多くなる。そこで次式を用いることにした。

前掲(1)式

$$\theta=\frac{l\ (\Delta k)}{2\{p^2+k(\Delta k)\}}$$

$$=\frac{l(\Delta k)}{2p^2\left\{1+\frac{k(\Delta k)}{p^2}\right\}}$$

$$\fallingdotseq\frac{l(\Delta k)}{2p^2}\left\{1-\frac{(\Delta k)k}{p^2}\right\}$$

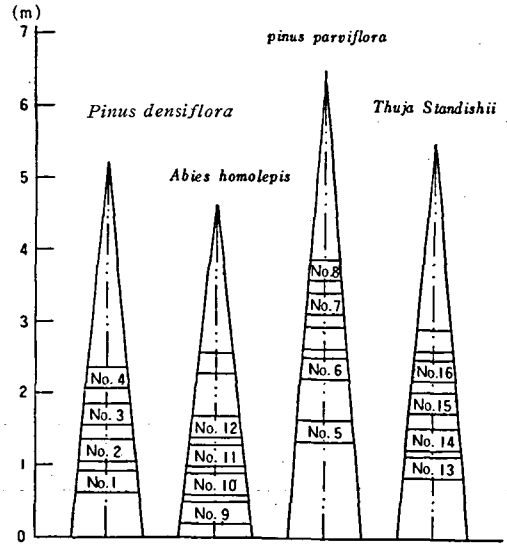


Fig. 31 Portion of Sampling.

$$\fallingdotseq \frac{l(\Delta k)}{2p^2} - \frac{l(\Delta k)^2 k}{2p^4}$$

第2項はごく小さいから

$$\theta = \frac{l(\Delta k)}{2p^2}$$

$p \fallingdotseq l$ のときは前年の近似式と変りはほとんどないが，p 大であると差が大きくなる。

2　測定の結果

(1)　アカマツは130日程度で平衡含水率に達したが，同時或いは多少前からねじれ狂いの傾向は安定し，1例を除いてS方向であつた。

(2)　ヒメコマツはアカマツより遅れて平衡含水率に達したが，1例を除いてZ方向に乾燥ねじれ角を増した。

(3)　ウラヂロモミは平衡含水率に達したのは100日程度である。ねじれ狂いの方向はS及びZ方向相半ばする結果になつた。回旋型はSⅣ乃至SⅥで繊維回旋の状況が複雑である。

(4)　ネヅコは60日で平衡含水率に達した。その供試材は節をもつていたのにかかわらず例外なく，ねじれ狂いの方向はZで，変化は単調であつた。

(5)　ハイマツでもねじれ狂いの方向と巨視螺旋の方向は一致した。

ハイマツは含水量の測定を省略した。

Table 4—5　Initlal and terminal twisting warp with reference to type of twist.

Species	Specimens	Type of twist on both radious	Direction of twist at outer surface	Initial direction of twisting warp	Terminal direction of twisting warp
Pinus densiflora	1	SⅢ	S	S	S
	2	SⅢ	S	S	Z
	3	SⅢ	S	S	S
	4	SⅢ	S	S	S
Pinus parviflora	5	ZⅢ	Z	S	Z
	6	ZⅢ	Z	S	S
	7	ZⅡ&Ⅲ	Z	Z	Z
	8	ZⅡ&Ⅲ	Z	Z	Z
Abies homolepis	9	SⅣ&Ⅵ	S&Z	S	Z
	10	SⅣ&Ⅵ	S&Z	S	S
	11	SⅣ&Ⅵ	S&Z	S	S
	12	SⅣ	O	S	Z
Thuja Standishii	13	O&ZⅥ	O	S	Z
	14	ZⅡ&ZⅢ	Z	Z	Z
	15	ZⅢ	Z	S	Z
	16	O&ZⅡ	O&Z	Z	Z
Pinus pumila	17	ZⅡ&Ⅲ	Z	Z	Z
	18	ZⅣ&Ⅵ	Z&S	S	Z
	19	ZⅢ	Z	S	Z

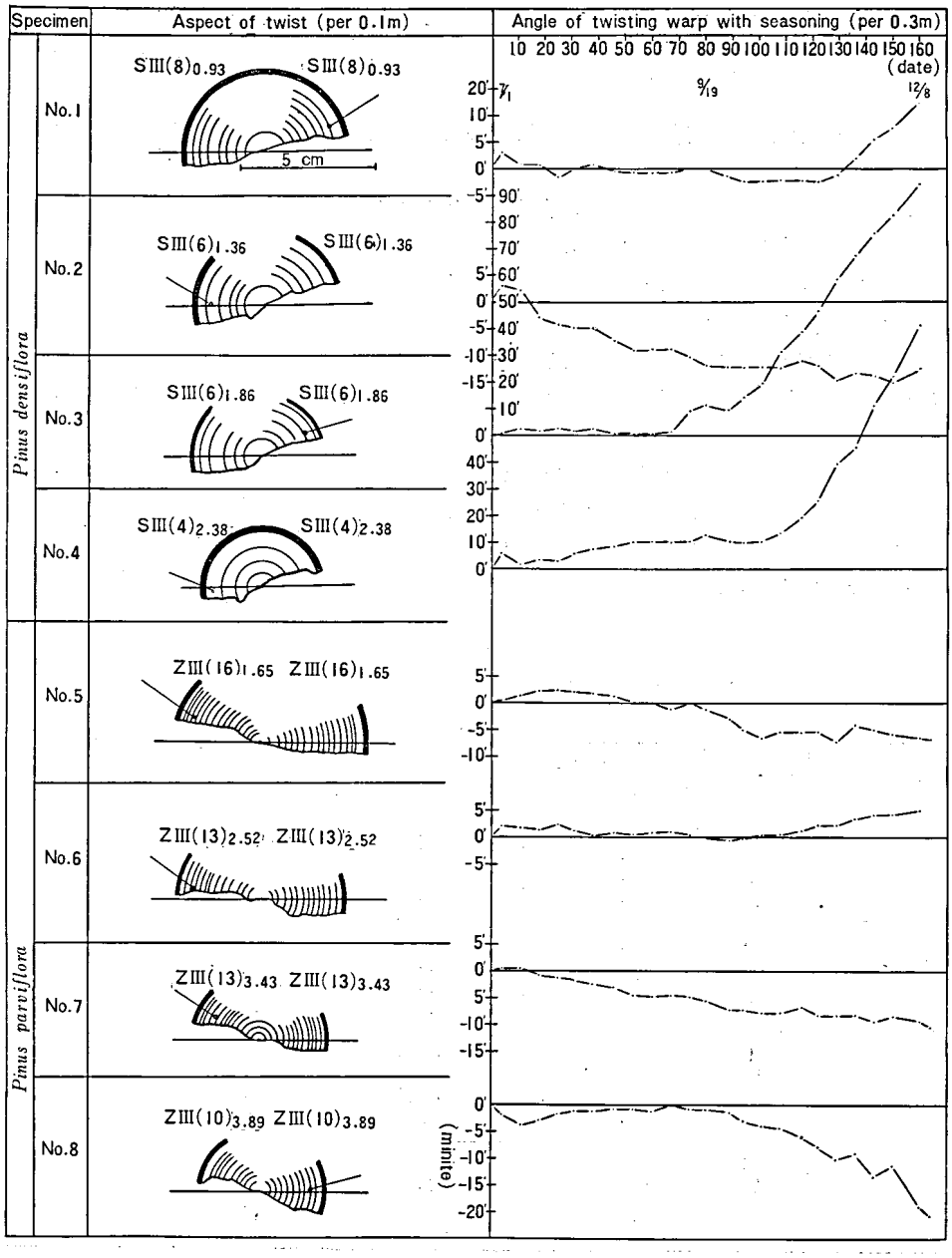


Fig. 32 Variation of angle of twisting warp refered to the aspect of macrospiral construction of specimens.
(/ , Position of moving needles)

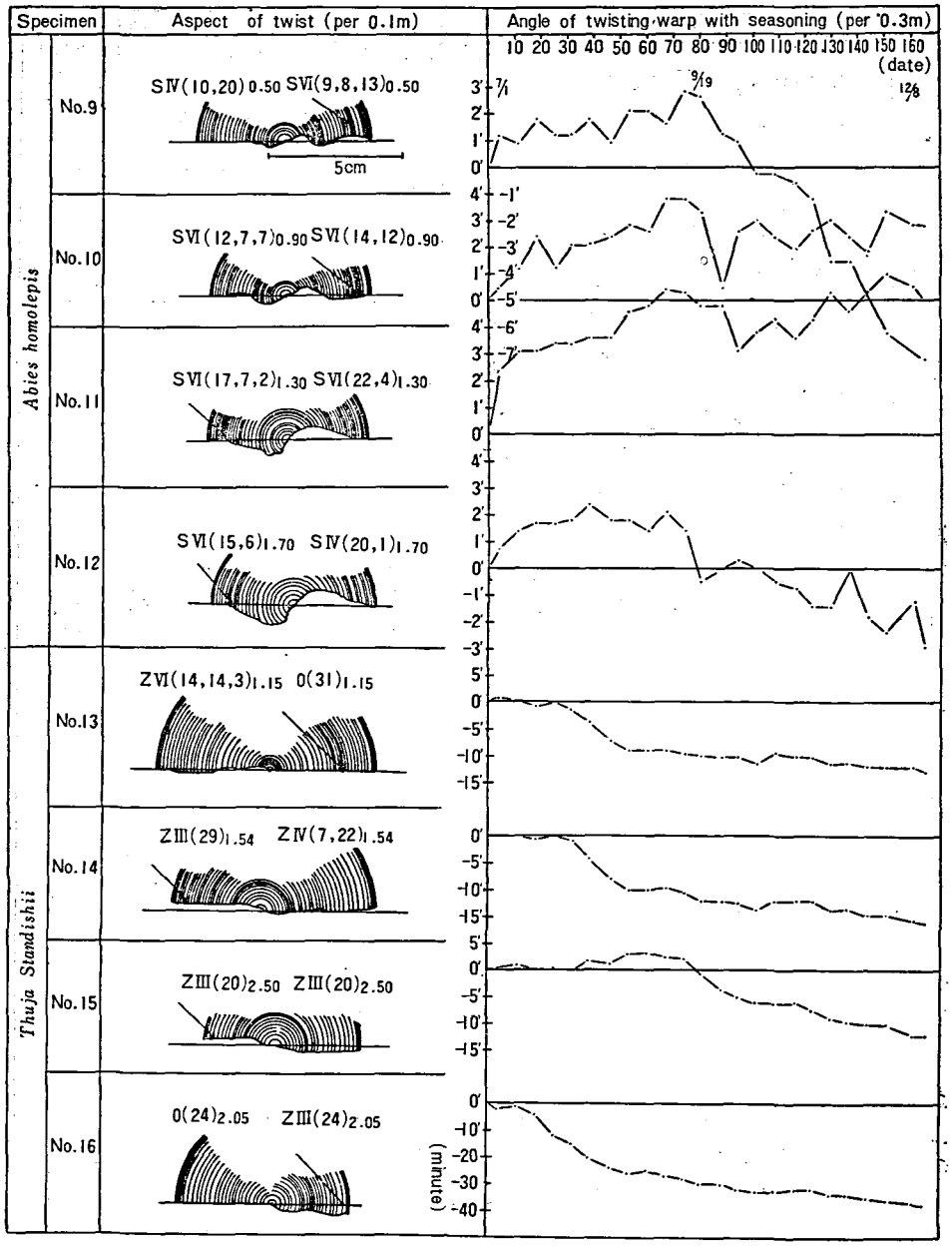


Fig. 33 Variation of angle of twisting warp refered to the aspect of macrospiral construction of specimens.

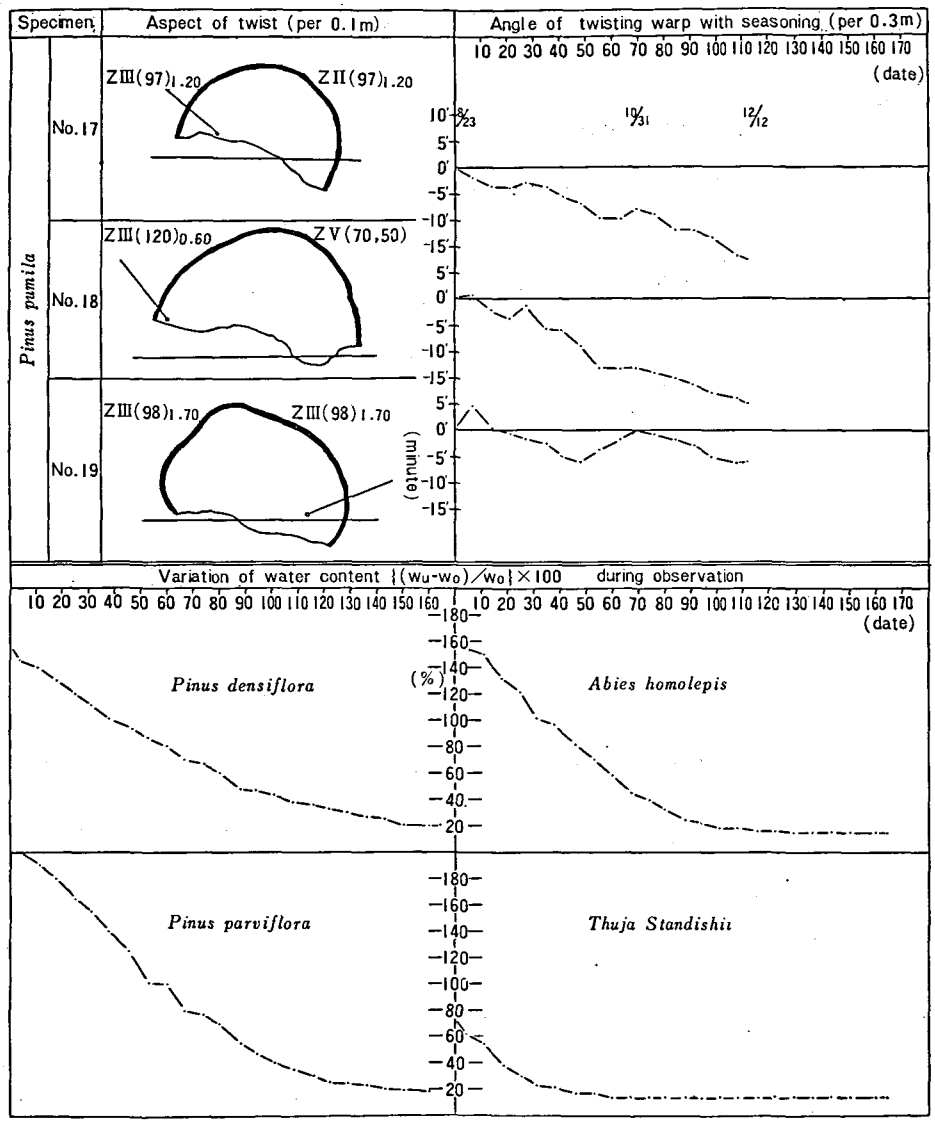


Fig. 34 Vaiation of angle of twisting warp refred to the aspect of macrospiral construction of specimens.

E 総　括

BURGER によると，防腐した *Tanne* 或いは *Fichte* の気乾電柱は野外でS方向に40° ねじれることがあるし，筆者の実験によると，生材から気乾材に達してから，同じようなねじれ方を示す可能性がある。ねじれ狂いの状況は回旋型によつて変化する。このような現象はたしかに研究に価するし，無視するにはあまりに狂いの価が大きいと思う。乾燥ねじれの原因は疑いもなく巨視並びに微視螺旋構造に求められねばならない。しかし筆者が当面目的にしているのはそこにあるわけでない。

切り離された丸太は所謂回旋生長による巨視螺旋と，乾燥ねじれとの複合が示されていてねじれ狂いの様相はかなり複雑し一概に論ぜられないけれども，次のことは言えるようである。

(1) 平衡含水率に近づいてから，供試材はおおむね一つのマツスとして安定し，ねじれ狂いの傾向がきまつて来る。

(2) 2断面と樹皮側から乾燥が進むはずであるが，同じ断面内において乾燥の経過状況によつて部分的なねじれ狂いの変化があり，部分の乾燥が他の部分のねじれ狂いの方向や程度に影響があるとみとめられること。

(3) それにも拘らず，実験全体として乾燥ねじれの方向は供試材のより大きい部分における巨視螺旋構造の方向とほぼ一致すること。

(4) それゆえにS回旋樹種の乾燥ねじれは1次的にはS方向，2次的にはZ方向である。Z回旋樹種は丁度反対である。

(5) 回旋型について言えば，原則的に次のことが予想できるであろう。

S Ⅰ，ⅡはS方向

S Ⅴ，ⅥはZ方向

S Ⅲ，Ⅳは条件によつてS方向にもZ方向にもねじれる。

Z回旋の場合は1例をのぞいて後期の乾燥ねじれがZ方向になつたが，乾燥の推移において反対方向の動きがないわけでなかつた。

つまり微視螺旋構造も亦乾燥ねじれの方向に関係がある。

文　　献

1) 農林省林業試験場編；木材工業ハンドブック，(1958), P. 121.

2) KOLLMANN, F.; Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, (1951), P. 28.

3) KUNUCHEL, H.; Holzfehler, (1947), P. 30.

4) BURGER, H.; Mitt. d. Schweiz. Anst. f. d. forst. Vers., 22, 1, (1953), P. 177～187.

5) 平凡社；世界大百科辞典，24, (1958), P. 145.

V 考　　察

正常回旋材について二つの基礎的な事実がわかつたように思われる。

その1はS回旋樹種であるカラマツ材を構成する仮導管の S_2 の微視螺旋構造にはSとZとの方向が共存し，その百分比によつて樹幹のねじれ角が変化する。このことは樹幹の生長にさいして個々の仮導管のPには，方向相反し絶対値があまり変らない力が，結局において，働いていると解釈出来る。

他の1はカラマツを含めて，S回旋樹種では収縮にさいして1次的にはS方向に，2次的にはZ方向にねじれがおこり，収縮に当つてのねじれ狂いは材の大部分における巨視螺旋構造と方向が一致する，ということである。BURGER によると，気乾の電柱は湿潤期には乾燥期の逆方向にねじれが戻る（Fig. 16）。つまり伸長に当つてS回旋材は1次的にはZ方向，2次的にはS方向にねじれが起るわけである。

チリメンは左右両方向の2種のつよい撚り糸を横糸に用いるのである。例えばそのS撚り糸の両端に錘りをつけ，熱湯処理をすると撚り糸は伸長し2個の錘りはZ方向に撚り合される。つまりS回旋樹種の正常回旋材は湿潤伸長するときにZ方向に，乾燥収縮の場合と反対に回旋する。このことは巨視螺旋構造ばかりでなく，単繊維の場合にもあてはまる。それゆえ正常回旋材が乾燥ねじれを起す原因は巨視螺旋構造と共に S_2 の微視螺旋構造が，時に潜在的に時に顕在的に働いていると見なければならない。このことが，回旋型SⅢ，Ⅳ，ZⅢ，の乾燥ねじれを例外的に行動させると見るのである。樹木が生体として乾燥ねじれを受けているか否かは別に研究を必要とするように思うが，S回旋樹種の S_2 の微視螺旋構造は1次的にS方向の仮導管が優越し，2次的にZ方向が優越し，Z回施樹種では事情が逆になることはほぼ疑いない。

ところで一般に伸長時においては，元来もつ螺旋構造の方向と反対方向の力が働くということになるゆえ，巨視螺旋構造でS方向に傾いた仮導管はPにおいてはZ方向の力に動かされていると見なければならない。同じ仮導管についてPのトルクの方向と S_2 の微視螺旋構造の方向とは相反する。換言すればS回旋樹種のPにおけるトルクは1次的にZ方向，2次的にはS方向が優越せねばならない。

このような考えは PRESTON のスプリングに関する仮設を頭においての話であるが，仮導管の繊維の方向或いはねじれの程度を決定する原因に立ち戻つて見よう。Pが単純な螺旋構造と言い切れないのは前に述べた通りであるが，其の後 PRESTON[1] は他の研究者と同様にPの構造が網状であることを認めながら，尚かつPにおけるセルローズ鎖の配向は，水平面となす角16°以上にのぼらない平らな螺旋構造であるとしている。この点は甚はだデリケートであるが，電子顕微鏡で形態学的にPを明瞭に撮影した原田ら[2] (Plate 2, Phot. 4, Plate 3, Phot 5, 6) は主方向は仮導管長軸に直角に近いとし，特に螺旋構造を強調することはない。これをかなり配列の不規則な方向相反する2個の平らな螺旋構造の組合せと見れないこともない。FREY-WYSSLING[3] によれば，Tip growth にあたりPのミクロフィブリルは網状構造の巾をひろげ，同時にミクロフィブリルは方向を変え，より長軸方向に近づくという。この場合ミクロフィブリルは明らかに2方向

をもつ螺旋構造になると言うことになる。この弱化した膜は伸長と同時に，伸長以前にとつていた構造と同じ膜でうらうちされるわけであるが，その時すでに細胞のねじれ変位は起つているであろう。若し仮導管発達の初期においてこのようなことが事実行われているとするならば PRESTON の根本的誤解は修正した形においてみとめられることになる。

PRESTON は更にすすんで　P について

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta L}=\frac{\cos\alpha\sin\alpha\left(1-\frac{2n}{q}\right)}{a\left(\cos^2\alpha+\frac{2n}{q}\sin^2\alpha\right)}$$

において分子の符号により螺旋の方向が変ると言う。このことについては誰も異論はないが，$\frac{2n}{q}\lessgtr 1$ の如何によつて方向変換が起るとしているのは樹木或いは繊維間において正しいかどうか。つまり彼によれば Young's modulus と torsional rigidity の大きさ如何によつてのみ方向が変るという。樹令が進むにつれて $\frac{2n}{q}$ の値が変化することは予想される。恐らく PRESTON が期待したところと思うが，その点について次のような事情がある。

(1)　S 回旋及び Z 回旋樹種がなす幼型配向において決定的な微視螺旋構造の方向をどのようにして説明するであろうか。例えば S 回旋樹種（カラマツ，モミなど）は P についておおむね $1-\frac{2n}{q}<0$，Z 回旋樹種（スギ，ネズコなど)はおおむね $1-\frac{2n}{q}>0$ というような関係が，同時に成型配向において樹令と共にこの関係が逆になることを説明しえなければならない。

(2)　同じ年輪の同じ春材又は秋材中に，S_2 の微視螺旋の方向に 2 種あり，その比率においても年輪別の大小がある。このことは S_2 で見られたことで，P の話ではないけれども，S_2 の方向がねじれ角と有意の関係があるらしいのはすでに見た処である。この関係が可能なためには，仮導管の発達の初期において，FREY-WYSSLING のミクロフィブリル，或いは CHAMPION[4] の考える原形質流の緩傾斜の螺旋は個々の仮導管毎に異なる相反した方向をとり得なければならない。仮導管があり得べき長さに到達するさいに S 方向でも或いは Z 方向にでも螺旋が向い得なければならない。

このような考え方からは上記スプリングの式において，$1-\frac{2n}{q}$ の符号に重点をおくよりも $\sin\alpha\cos\alpha$ に注目すべきことになる。つまり，α が第 1 或いは第 4 象限の角か，第 2 或いは第 3 象限の角かということに帰着する。α は水平面となす角か 10° 台であるから第 1 から第 4 へ，第 2 から第 3 象限へ，及びそれらの逆転はさほど困難な大転換と言うわけでない。そのような転換の素地は P 自体の構造のなかに準備せられている。P が横巻きに近ければ近いほど転換は容易であろう。つまり個々の仮導管の発達の初期の段階において，α が Z 方向をとるか，S 方向をとるか，生物学的な撰択が行われればよい。この意味から網状構造の二方向性はすこぶる暗示的に思われる。スプリングと仮導管螺旋と異る点は前者が無生物であるに反し，後者が生物の所産であることである。FREY-WYSSLING[3] がすべて細胞初発に当つては機械論では説明出来ぬとし，P のミクロ

フィブリルの網状横巻き構造自体が細胞質の Morphogenetic の所産であると言つているのはすこぶる傾聴に価すると思う。この間の消息は期せずして染色体内部の螺旋構造を思わせるものがある。しかして松本及び平吉によると，染色体の有糸分裂のさいの螺旋糸が一端又は両端自由な螺旋の，或いは両端共固定して作られた螺旋の原理によつたものであるか，論者によつてことなるという[6]。

Pから巨視螺施構造に至る螺旋の方向について整理すると Table 7 になる。

Table 7 Alternations of spiral directions from primary wall to macrospiral construction.

Direction / Species	Direction of torque exerting around primary state of cells	Direction of microspiral const. in S_2	Direction of macrospiral const. in trunk
S spiral tree species	Z, superior in infant age; S, superior in adult	S, superior in infant age; Z, superior in adult	S, superior in infant age; Z, superior in adult
Z spiral tree species	S, superior in infant age; Z, superior in adult	Z, superior in infant age; S, superior in adult	Z, superior in infant age; S, superior in adult

一般に樹木における螺旋構造がS方向に傾き，或いはZ方向に傾くのは第1次膜の微視螺旋構造にはじまり，樹幹巨視螺旋構造に終るまで，絶対的，かつ決定的な性質でなく，相対的かつ比較的な性質のようである。1年輪のうちにPがS及びZ方向のトルクでねじられた仮導管がありうる筈であり，S_2 にはS及びZ方向の微視螺旋構造が共在する。これらの正負の力の平衡関係の上に膨縮のさいの方向が決定されると理解しうるのである。従つて不明の条件につれてS回旋樹種において"ねじれかえし"に遅速が起りうる。Z回旋樹種についても同様である。

ネジバナの回旋花序を研究した郡場博士[5]は筆者にしばしば書簡を送り，樹幹の巨視構造も機会が回旋方向を決定することを説かれたが，以上の意味に理解すべきものであつたと思う。生物界における左右性と回旋性は形態発生学的に種々なる段階において，種々なる強さでリンクしているように想像される。左右性が回旋性に比して動揺しやすいと考えたのは恐らく誤りでない。

PRESTON は地理的な ハンディキャップ によつてS回旋樹種のみを識り，針葉樹のZ回旋樹種の存在を 知らなかつた。これが彼の 考え方を一方的，かつ一元論的にした。PRESTON との見解のちがいを実証で示すことは，対象が伸長しつつある仮導管の第1次膜であるだけにすこぶる至難に属する。今のところ水かけ論に止まる怖れがあるのであるが，回旋生長に対する根本的態度はかなり異ると思う。

思うに樹幹の回旋生長の現象は方向的には蔓茎植物のつるまき現象に類似する。その経緯は次のようである。

Table 8 Directions of spirals in vines and trees.

Form of plants \ Direction	Superior direction of main axis	Superior direction of fiber to the axis	Superior direction of torque exerting around P in infant age
Vines	Z, in the north [4] S, in the south	S, in the north Z, in the south	Z, in the north S, in the south (supposed)
Trees	Seem to be straight	S, in the north Z, in the south	Z, in the north S, in the south

この類の方向に関する一致はすこぶる多く，樹木の繊維回旋現象がこれに加つたということになる。

文　　献

1) PRESTON, R, D.; ibid., (1952), P. 178.
2) 原田，宮崎，若島；ibid., (1958).
3) FREY-WYSSLING, A.; ibid., (1958), P. 34～36.
4) 大倉精二；ibid., (1958), P. 74.
5) 郡場寛；植物学雑誌，26, 308, (1926), P. 239～253.
6) 木原均編；細胞遺伝学，1, 基礎編，(1954), P. 242～269.

Ⅵ 結　　言

正常な樹木の繊維回旋における幼型配向のさいにPに優越する螺旋方向は，はからずも地球上におけるつるまき現象や，低気圧に流れこむ風の方向，そのほか類似の場合と一致するようである。しかしこれらがどれも同一原理に基くかどうか確証はない。

1955年から提唱して来た回旋生長の2元説[1]，つまり樹木における回旋性と左右性は分離して考察すべきものであり，後者は前者に比して動揺しやすい。樹木が左旋性或いは右旋性をそのまま遺伝しているわけでないという説は，次のように煮詰つて来たように思う。すなわち仮導管でセルローズ鎖，或いはミクロフィブリルはどのようにして螺旋構造をとるかの問題と，何ゆえS回旋樹種では仮導管発達のさいに1次的にZ方向が優勢となり，Z回旋樹種ではS方向が優勢となるらしくあり，しかも地球地理的に偏奇を見せるのであるかの問題となつて来た。

回旋生長の原因に対する R. D. PRESTON のスプリングの伸長のさいの回旋機構による着想は否定すべき理由がない。しかし修正は必要と思われる。

辷り生長説について一言するなら，それは原因であるよりむしろ結果であろう。

樹幹の繊維回旋の諸相をうまく説明しつくすには，将来の定量的研究に俟たねばならぬ。PRESTON は主に単繊維の伸長に重点をおき，ある程度の成果をあげたと信じているようであるが，筆者から見ると回旋の方向もまた同様に大切である。

実用的には今まで解釈のつけにくかつた諸問題に，新らしい考え方や解釈の可能性が生じたようである。例えば背割り，目割れ，表面割れ，異常回旋，通直ということ，などである。

文　　献

(1)) 大倉精二；ibid.,(1955), P. 298～300.

(1959. 11. 3 文化の日に)

An approach to the causes of spiral grain in trees

by Seiji Ohkura

I According to the author's former works, the general aspects of the twisted fiber in trees may be summarized as follows:

(1) The type of spiral in a tree trunk is definite, in general, at least in early days. From this point of view, tree species are devided into 2 types, the S and Z spiral species.

(2) At first the angle of twist to the tree axis increases centrifugally, until the maximum value is obtained. Then the gradual decrease begins until an unwinding happens. The maximum value at a cross section increases to the apex, moving the location centrifugally, and then decrease the value.

(3) Diminishing to zero at a certain annual ring, the angle of twist regains gradually showing the tilt opposite to the initial direction. This phenomenon is usually called an unwinding or "Umdrehung" in German.

(4) The unwinding occurs once or more depending upon tree species.

(5) The variation of angle, and especially the time of unwinding may differ by different environmental conditions.

(6) Features of the S and Z spiral types in trees occur entirely symmetrically except the direction.

(7) In conifers, the distributions of the S spiral species on the earth incline to increase toward the north and decrease toward the south. The hemisphere shows clear contrast to the another. Broad leaved trees belong to Z spiral species in general with occasional exceptions.

After the author has been engaged in the investigations about those phenomena, he has advanced the dualistic theory refered to them; the spiral habit and its right-and-lefthandedness should differ in their fundamental properties. Each should be pursued along their particular courses. In the present paper, the author believes to have made some progress.

One may look upon the spiral grain to be abnormal or a disease at first sight. There would be another, however, who asserts it normal and healthy. There are normal and abnormal (excessive) twists to be met in the field, whose definitions are not easy because of the lack of anatomical clues and of standard of twist to be trusted. The author at present wants to restrict himself to explain the normal twist of normal trunks, reserving the later investigation.

Following definitions will be useful later.

S or left-handed spiral : ascent from right downward to left upward to the observer.

Z or right-handed spiral: ascent from left downward to right upward from the observer.

Macrospiral construction: course of twisted fibers in a tree.

Angle of twist: angle of macrospiral to the tree axis.

Microspiral construction: spiral arrangement of fibrils or microfibrils at any lamella of a cell wall.

Fibrillar angle of twist:angle of microspiral to the longitudinal axis of tracheid.

II To measure the fibrillar angles of twist in S_2 about radial walls of tracheids, tilts of oval half-bordered pits at a crossfield are expected to represent them. For tangential walls, X-ray diagrams were taken by courtesy of the Goverment Forest Experiment Station.

It seems fairly certain that no distinct correlation can exist between the angle of twist and the fibrillar angle of twist in S_2 of tracheids on both radial and tangential walls. On the contrary, distributions of microspiral construction in S_2 of tracheids with regard to the directions S and Z, observed by the S. U. M. P. method, which is nothing but replicates the surface of samples, show to have some meaning with the variation of angles of twist. The author thinks it rational, that there act torques on the primary wall of tracheids opposite to directions and having comparatively equal absolute value, which should be responsible for the variation of the angles of twist.

III From the year 1952 to 1958, experiments were carried out about 3 S spiral species (*Larix Kaempferi* Sarg., *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc., and *Abies homolepis* Sieb. et Zucc.) and 2 Z spiral species (*Pinus parviflora* Sieb. et Zucc., *P. pumila Rgl.*, and *Thuja Standishii* Carr.) to explain the relation between the spiral constructions and directions of twisting warp among those tree species. Some trials were made before the following promising method had been devised. Specimens were fixed by nails on a steady basis. Mirrors were set on the end to move with and to record the behaviors of the specimens (See Plate VI). The results were as follows:

(1) The specimens display somewhat steady behavior after the equilibrium moisture contents are gained, and the trend of twisting warp seems to be more settled.

(2) As the seasoning proceeds from cross sections and across the bark to the pith, partial unbalance of moisture contents causes partial twisting warp,

which seems to effect warps in any other parts of the same cross section.

(3) In spite of those complicated circumstances, directions of twisting warp coincide with the macrospiral directions maintained by the larger part of the specimens.

(4) As the consequence, the twisting warps trend to happen primarily to S direction, and secondarily to Z in S spiral tree species, but in Z species vice versa.

(5) Types of twist in macrospiral construction effect the directions of twisting warps. In general,

S I, II : to the S direction.

S V, VI : to the Z direction.

S III, IV : to any direction under circumstances (see p. 2).

Except one, all specimens of Z spiral species twist to Z direction, but the trends of opposite twist, which can be occured under circumstances are also observed among them.

The directions of twisting warps agree with the signs of macrospiral maintained by the larger part of specimens, and the directions of twist are opposite to those of the macrospiral constructions when they show their dimensional increase as a result of the increased humidity (See Fig. 16). This must also be true for tracheids as they differeciate from cambial initials and show increase in their length.

Preston's conception to explain spiral growth following to the rule governing the length changes of a spring, may not be accepted without modification which is nothing but fundamental (See p. 8~9). It may be more rational to inquire the sign of cos α sin α instead of $(1-\frac{2n}{q})$ in order to explain the reason why an unwinding should happen in the twisted grain. If a sort of biological preference should exert itself, the angle of microspiral at the primary wall of tracheid may not fail to undertake the alternation from 1st quartant to 4th quartant and 2nd to 3rd, being the angle α considered to be less than 20°. The flat spiral of primary wall, which in any way forms net work of microfibrils, is said to steepen the spiral to the longitudinal axis of tracheid as the tracheid elongates. The bidirectional microspiral or the net work construction of primary wall is rather suggestive to this point. When Frey-Wyssling described that the newly formed microfibrils of primary wall should always be deposited in the transverse direction, he said that mere mechanistic consideration cannot explain the inception of any differentiation.

There may be alternations of the sign of spirals begining with tracheids differentiaion and ending with spiral grain, as the types of twist in tree species

varies as shown in Table 7. Geographical handicaps should have to do with Preston's rather one-sided idea.

It is curious enough that the distributions of supposed signs on the earth should be so proved as the signs of torques causing the tilting position of tracheids and those of spirals of climbing vines are the same.

IV For the above mentioned dualistic theory, we may reduce as follows: by what means the cellulose chains orientate spirally around tracheids, and for what reason the Z direction is superior primarily in the north and the S direction in the south.

Explanation of plates.

Frontispiece: Phot. 1 An abnormal twist of dead *Pinus densiflora* showing Z 85°. Shimoina, Nagano Pref.

Phot. 2 An assemblage of boles of *Larix Kaempferi* showing normal twist under S 1°~4°. Ina city.

Plate I & II : X-ray diagrams of sample No. 1 (Fig. 5). Specimens for investigation are taken from early and late woods of every other annual ring starting from 2nd one. X-ray is projected perpendicular to the tangential longitudinal surface.

The parallelism of crystallites shown by plate I is better to outward, and late woods show the tread of higher regularity compared with early wood. Those tendencies are not so distinct in Plate II.

There will be no possibility to find the direct relation between the angles of twist and the fibrillar angles of tracheid no matter which of the walls, tangential or radial, should be measured (See Table 1).

Plate III : Light microphotographs taken from tracheids at radial surface maserated from the same sample.

Photos of each rows taken from one and same objects. Photos to the left hand (Phots. 1, 3, 5) focused this side of tracheid, and the right hand (Phots. 2, 4, 6) to that side. Fibrillar angle of twist in the tracheid of 1st row shows S 40°, 2nd row in spite of apparent orientation Z 30°~32°, 3rd row Z 45°.

Plate IV : Electron microphotographs of tracheids taken from the same sample. Splitted, early wood, radial surface (2-step method ethylmetacrylate Al, Cr schadowed, tracheid axis ↙). Electron ray projected always to Al side of each metallic lamella, which was acertained with a light microscope by the Indian ink previously marked.

There remains no doubt, with Plate III and Plate IV, that there coexist

S and Z directions in the microspiral construction of sample No. 1.

Plate V : The statues gained by the S. U. M. P. method replicated the surface of splitted woods. (*Larix Kaempferi*, radial longitudinal surface)

Phot. 1 Horizontal type.

Phot. 2 Vertical type.

Phot. 3 Crossed type.

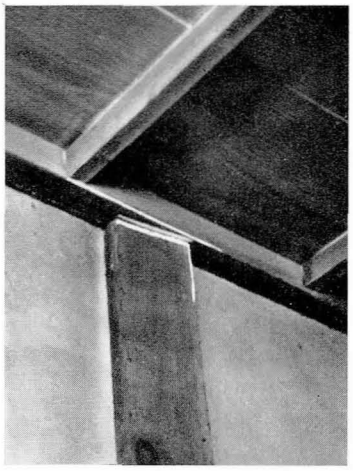
Phot. 4 Crossed type (*Abies homolepis*).

To count the percentages of S and Z direction in fibrillar orientation, horizonal and vertical type should be omitted.

Plate VI : Phots. 1~4. Device for the experiments in 1952 and '53.

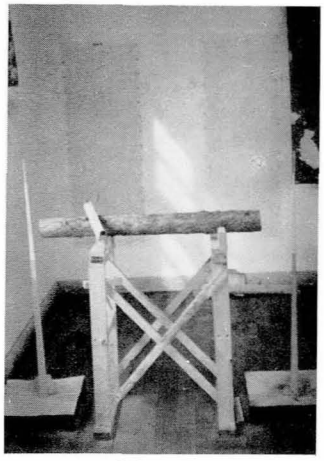
Phots. 5~6. Device for the experiments in 1957 and '58.

PLATE VI

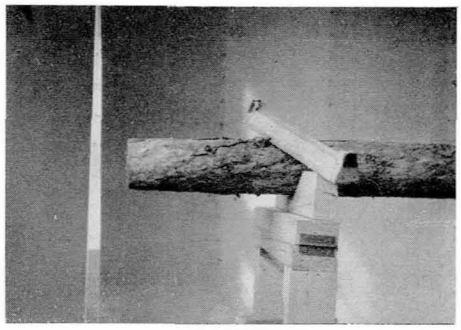


Phot. 1

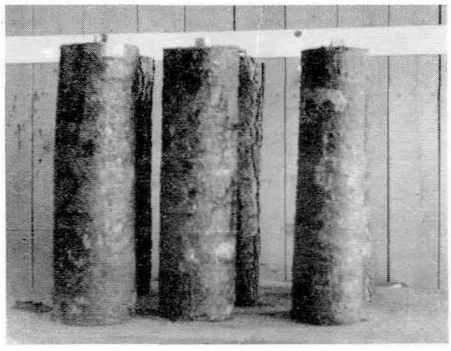
Phot. 2



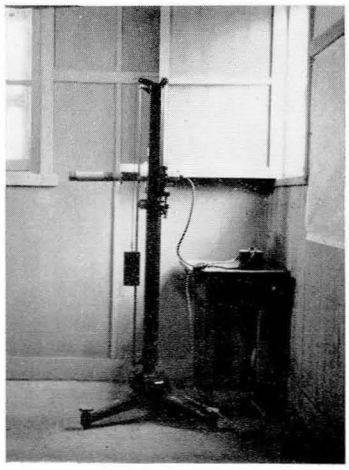
Phot. 3



Phot. 4



Phot. 5



Phot. 6