

# ア テ の 研 究

尾 中 文 彦

(木材組織研究室)

Studies on Compression- and Tension-wood.

by Fumihiko ONAKA

## 目 次

緒 言	1
I ア テ	1
II アテの形成原因とその生理的意義	2
III 自然に於て現れるアテの形成状態	15
IV 針葉樹のアテの解剖的構造	18
V 濃葉樹の偏心成長に伴う組織の解剖的構造	27
VI アテの化学的成分	53
VII アテの物理的性質	55
VIII アテの機械的強度	67
摘 要	77
文 献	87

## 緒 言

アテは樹木の肥大成長が一側的に偏る、所謂偏心成長に際し、成長の偏る側に生ずる異常の材である。この材は種々の点で正常の材と異なる性質を有し、木材不均質の原因をなすから、利用上重大な缺点の一に数えられている。本報はこの異常材の成因と特異なる性質に就て、従來の研究をとりまとめたものである。

## I ア テ

針葉樹の幹の傾斜した部分、或は枝の下側等に赤褐色を呈するかたい材が見出される。MER (1887) は之を Bois rouge とし、R. HARTIG (1896) は Differenziertes Holz 又は Rothholz として記載し、その後 Rotholz として知られている。我国で木材業者がアテと呼んでいるのはこの材である。英語では Red wood としたのものもあるが、Sequoia 或はヒマラヤの Spruce も Red wood と呼ばれるから混同の虞があり、多くの場合、Compression wood と記されている。之が傾斜した幹の下側に現れ、縦の方向に圧力を受ける部分に生ずると見られたからである。独逸語でも Druckholz の名が用いられ、又この材がカンの様にかたいと言うところから Aichiges Holz とし、或は Nagelhart, Glassy wood 等と呼ばれる事もある様である。

ENGLER (1918) は之が重力の刺戟によつて生ずるとして *Geotropes Holz* の名を与え、HARTMANN (1932) は軸の位置の移動に対する反応として現れると考え、*Reaktionsholz* と称し、Dadswell (1940) は *Stimulus wood* と記載している。

我国のアテと言う言葉は元來漁夫、木工業者等に用いられてきた俗語である。柳田氏は「アテは向う側、裏側、樹にあつては成長の悪かつた部分の事で、悪いの意味に用いられる」としている。この材はかたく、もろく、釘打がきかず、又縦の方向に収縮が著しいので、之を含む材は曲つたり振れたりするから材質が悪いと言う意味でこの語が起つたのであろう。併じ地方によつてこの語は種々の意味に用いられるらしく、例えば高知では傾斜地に生ぜる立木の谷間に向える側を示し、愛媛の南部では横断面にて年輪の粗なる部分を言い、大分では曲れる木の外部を指し、名古屋では木材を挽く際かたき部分を言う等は略この異常材の存する側を指したものと見られるが、必ずしも其实在部と一致しているわけではない。鹿児島では振れ又は反れたる木、群馬では心入り、又は性悪く割れ狂いあるものをアテと称すると言ひ、又立木の南側、日当りのよい側は成長よく、材もかたくなりそれがアテとなるとの説も各地にある様であるから混乱を來し易い。(大日本山林会編、林業辞典参照)。ここに言うアテは材質に関しその缺点とされている特殊の異常材を指す。

アテを *Rotholz* に充て、針葉樹の偏心成長に際して現れる異常材に限定したものもあるが、濶葉樹の偏心成長に際しても成長の偏る側に特殊の異常材が現れ、之もアテと言われる。只それは針葉樹の *Rotholz* の如く著しい色の相違はなく、性質に種々特異な点はあるが、從來あまり注意されておらぬ。この材は特徴として、木纖維細胞膜に全く木化しない膠質層と呼ばれる層があり、それが針葉樹のアテと反対に傾斜した幹の上側、即ち縦に張力の作用する部分に現れる様に考えられ、METZGER (1908) は之を *Zugholz* と称している。この様に針葉樹のアテと濶葉樹のアテは共に偏心成長を伴う特殊の異常材であるとは言えるが、形成側の関係にも構造上の特徴にも共通するところがなく、むしろ対蹠的な性質がある。ENGLER の *Geotropes Holz*、HARTMANN の *Reaktionsholz* なる語は両者のアテに通ずるものであるが、之はその形成の原因又は生理的意義が共通する点によつたものである。MÜNCH (1937) 及び筆者の研究に従えば、第二期肥大成長に際し軸が屈動性又は傾動性を起す位置に於て、肥大成長が一側に偏り、その側にアテを生じ、之によつて軸の屈曲が現れる。従つてアテは軸に生理的屈曲を起さしめる機能を有する材であると言う事が出来る。

アテに対して檔、反木、陽疾等の字があてられているが、茲には片仮名を用いた。

## II アテの形成原因とその生理的意義

前述した様にアテの形成に際し偏心成長を伴う。偏心成長は一側的に肥大成長の偏る現象であり、その結果年輪は一側に向つて廣くなり、横断面上髓はその中心を離れる事となる。この様な例は種々の場合に見られる。枝葉の乏しいしかもそれが一側に偏つてある樹木の年輪は屢々枝葉のない側に於て狭い。又成長の衰えた太い下枝の分岐部の下にて幹に屢々年輪の凹入を生ずる。

局所的な形成層の損傷、機械的な圧迫等によつても成長は偏る。地表に近い太い側根の基部にも屢々著しい偏心成長が見られる。又軸が強く屈曲せる際その凹側にそうて成長が大となり、繊維の走向は波状に皺曲して所謂波状材を生ずる。併し之等何れの場合にもアテの形成を伴うとは限らない。只傾斜した幹又は枝に現れる偏心成長には通常アテの形成を伴う。而して偏心の程度とアテの形成程度は略々平行的である。この場合両者の原因は同一であると考えて差支えない。

この種の偏心成長に就ては既に前世紀の末葉歐洲の学者の注意をひき、DETLEFSEN (1831), KNY (1832), CIESLER (1896), WIESNER (1896), SCHWARZ (1899), R. HARTIG (1899, 1901) 等多数の研究がある。その原因に関する主要なる説を挙げると、營養の偏りによるもの、樹皮の圧迫によるもの、縦圧の刺戟によるもの、重力の刺戟によるもの等がある。就中最後の2つは R. HARTIG が Fichte を材料とした種々の実験によつたもので最も廣く信じられ、其後の研究者も結局此説を肯定したものが多し。然るに BURNS (1920) は White pine によつて実験を繰返し、縦圧の刺戟には疑を抱き、更に HARTMANN (1932) は重力の刺戟も関係がないとした。HARTMANN は樹木の各部は重力方向に対し或一定の位置をとつて静止するもので、その位置より動かされた時、反応としてアテを生じ成長が偏る、即ち直向性軸は鉛直の位置より、斜向性軸はその固有の斜向位より離れた場合に偏心成長が起るとした。この説の当否は別として、彼が主軸と側軸に於ける傾向の相違を見出した事は確に卓見であつた。従來の諸説が紛糾した主なる理由は之を混同したためと言つてもよい。

筆者 (1935) はこの問題に関し、枝には側によつて成長を異にする生理的背腹性が分化せる事を指摘し、更に (1937 A) 針葉樹及び濶葉樹に就て多数の実験の結果その理論を考察したが、茲に其後の研究を併せて再考察を試みる事とする。先ず前報の要旨を述べると次の通りである。

1. アテの形成を伴う偏心成長は針葉樹と濶葉樹により、又その幹と枝によつて異なる傾向がある。

2. 幹に於ては軸が鉛直の位置より離れた時に偏心成長が現れる。而して成長の偏り、即ち偏心の程度は軸が鉛直となす角度の略々正弦値に比例する。故に之は軸の横断方向に作用する重力の作用に基くものと考えられる。尤も偏心の最大なる位置は軸が水平より稍々上向したところにある。成長の偏る側、即ちアテの形成する側は針葉樹では下側、濶葉樹では上側にある。

3. 枝に於てはその伸長する方向、それは樹種により枝により多少相違があるが、鉛直より凡そ  $50-60^\circ$  傾いた位置より軸が動いた場合に偏心成長が現れる。而して此位置と水平に対して相称の位置より稍々下向したところ、凡そ  $150-160^\circ$  の附近に軸が來ると再び偏心成長は消失する。 $50-60^\circ$  と  $150-160^\circ$  の間に於ては偏心の程度は水平より稍々下向した位置にて最大となり、成長の偏る側は針葉樹では下側、濶葉樹では上側である。 $150-160^\circ$  を超して軸が鉛直下向即ち  $180^\circ$  となり、更に背腹上下反轉して  $270^\circ$ 、更に鉛直上向  $360^\circ$  又は  $0^\circ$  となり、更に背腹正位の  $50-60^\circ$  の位置に至る間に於ては偏心の程度は  $300^\circ$  の附近にて最大を示し、成長の偏る側は針葉樹では背側、濶葉樹では腹側にある。背腹側とは形態学的の上下側の謂である。第1図はこの関係を示した模式図である。

4. 枝は重力の一側的作用を除いた場合、例えば鉛直に上向又は下向の位置におくか、或は水平にして常に回轉した場合にも偏心成長を現す。この際成長の偏る側、即ちアテの形成側は、針葉樹では背側、濶葉樹では腹側である。故に枝には軸の位置に関係なく、その背腹側の関係によつて成長の偏る傾向があると言う事が出来る。

5. 前に枝は軸が 50—60° の位置に於て偏心成長を現さないと述べたが、之は背側が正しく上側と一致した場合の事である。軸の傾斜角は其儘としても、枝を軸の周りに回轉して背腹の相称面を鉛直より離す時は第2図に示す様な偏心成長が現れる。

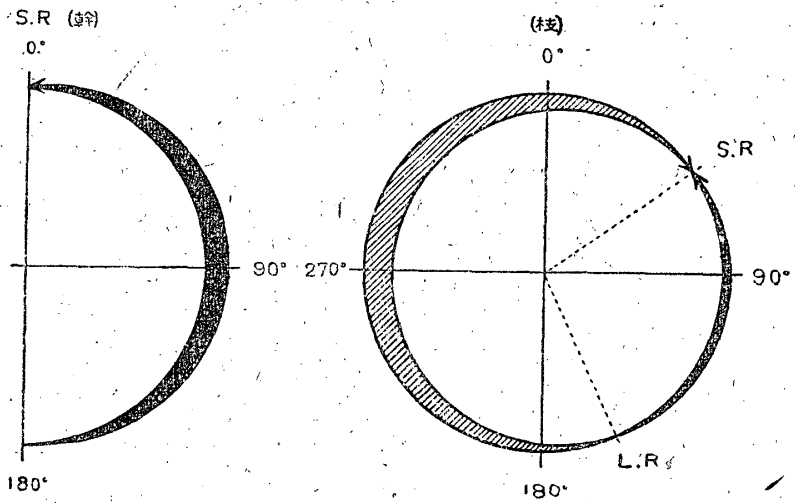
背腹側が上下側に一致する場合、背腹関係による前項の偏心成長の傾向が見ら

れない位置のあるのは之と方向反対であつてしかも同じ強さの偏心成長の傾向があり、互に相殺するからであると考え事が出来る。それを幹の場合に認められた重力の作用に基く偏心成長とすると、針葉樹では常に下側に成長が偏る筈であり、背腹関係による偏心傾向は針葉樹では背側に成長が偏るから、枝を回轉して背腹側と上下側が一致しなくなれば、両者の偏心成長の方向は一直線をなさなくなる。この場合第2図中、矢にて示した様に両者の合力を求めると、その方向と強さは夫々の位置の偏心成長の方向と程度に一致するのが認められる。故に枝には背腹側による偏心の傾向と重力の作用による偏心の偏向の二つがあり、両者が合成して偏心成長を起すと見る事が出来る。

更に注目すべきは幹に於ても枝に於ても、偏心成長の起る位置と屈地性屈曲現象の起る位置が

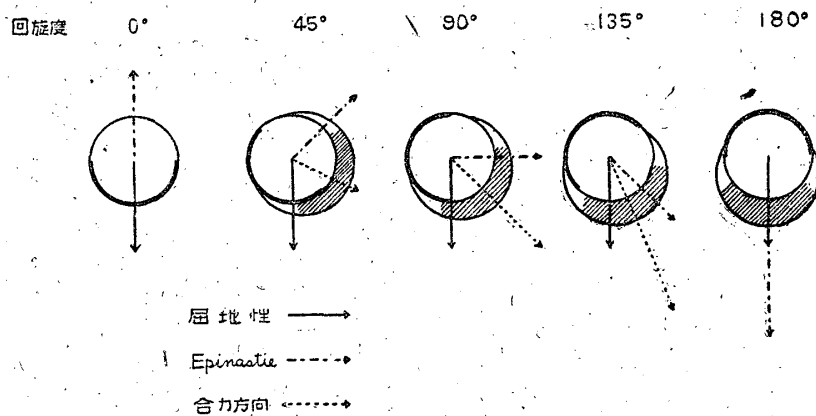
第1図

重力方向に対する軸の位置とアテの形成の関係模式図  
矢の方向は軸に現れる屈曲方向、黒き部分は針葉樹にてアテが下側に生ずる位置、斜線は同じく背側に生ずる位置を示す。濶葉樹にてはその側の関係逆となる。矢の太さはアテの形成程度を現す。S. R, L. R, はアテを形成せず、軸の屈曲も現れない位置。



第2図

枝の回轉に伴うアテの形成状態模式図 (針葉樹の場合)  
円の太い線の側は腹側を示す。斜線はアテの形成側とその程度を現す。



全く一致し、且アテの形成側と屈曲の進む方向との間に一定の関係が存する事である。第1図中矢の方向は夫々の位置に於ける屈曲の方向を示したものである。

此様に屈地性とアテの形成は極めて密接な関係を有する事が認められるが、之を説明する前に一応屈地性に関する従來の学説を想起しておきたい。言う迄もなく幹は鉛直上向の位置より離れた時、最短の方向をとつて先端より原位置に返らんとする屈曲を起す。この現象が屈地性である。屈地性は軸が鉛直となす角度の略々正弦に比例し、垂直下向の位置に於て再び消失する。この位置を不安定休止位 *Labile Ruhelage* とし、屈曲によつて最後に落ちつく鉛直上向の位置を安定休止位 *Stabile Ruhelage* と呼ぶ。枝に於ては鉛直に対し或角度傾斜せるところに休止位があるから之を斜向屈地性と言う。斜向屈地性が如何なる関係によつて成立するか就ては従來種々の説があるが、DE VRIES (1882)<sup>65)</sup>の説が最も有力の様である。之によると斜向性器官には腹側に向つて屈曲する傾向があり、それを *Epinastie* と称する。而して *Epinastie* は屈地性上向屈曲と方向反対なるために之を制限し、軸が或傾斜角の位置にて両者相均衡する。この均衡位が斜向性器官の休止位であると言う。

*Epinastie* に就て LUNDEGARDT (1918)<sup>9)</sup>は之を感受時間及び後作用の極めて長い負屈地性であるとしているが、RAWITSCHER (1923) は実験的に検討の結果、DE VRIES の説に賛し、*Epinastie* は生理的背腹性に基くものであつて、軸の傾斜関係によつて変化する事はないとした。之に対し屈地性は傾斜角の正弦値に従つて増減するから、屈地性を  $G$  とし、*Epinastie* を  $E$  にて示すと休止位に於ては  $G \sin \alpha = E$  と言う関係にある。 $\alpha$  は軸の傾斜角である。

何れにしても屈地性は軸の屈動現象であり、偏心成長は肥大成長の偏る現象であるから、前者が如何に密接な関係にあるとしても、之を表すには用語を別にする必要がある。筆者は茲に於て重力の方向に従つて肥大成長の偏る現象を重力偏心性 *Geotropie* と称し、針葉樹の如く下側に偏る場合を下側肥大性 *Hypotropie*、濶葉樹の如く上側に偏る場合を上側肥大性 *Epitropie* として區別した。又背腹側に従て肥大成長の偏る現象を背腹偏心性とし、針葉樹の如く背側に偏るものを背側肥大性 *Dorsitropie*、濶葉樹の如く腹側に偏るものを腹側肥大性 *Ventraltropie* と呼ぶ事とする。背腹偏心性は重力方向に対する軸の位置に関係なく現れ、枝に固有のものであるから、固有偏心性とした事もあるが、<sup>56)</sup>背腹側の分化は重力の作用によつて附与され、又幹この位置的関係によつても変化する事があるから固有の語は不適當であらう。

尙、こゝに混乱を避けるために二、三関連する用語に就て説明しておきたい。枝の上側又は下側に肥大成長の偏る現象は SCHIMPER (1854) によつて *Epi-* 及び *Hyponastie* と呼ばれたが、後 DE VRIES (1872) が此語を別の意味に用いたので、WIESNER (1892) は此現象に対し *Epi-* 及び *Hypotropie* なる用語を充てた。尙、之は機械的作用、重力の作用等種々の原因によつて起ると考えられ、夫々の原因を示す語を冠して *Mechanotropie*、*Geotropie* 等と称せられた。併し URSPRUNG (1906) は *Trophie* なる語が元來營養を意味する語であるから之を用いるのは適當でないとし、TROLL (1939) は *Epi-* 及び *Hypotonie* なる語を提唱している。

Epinastie なる語は上述の如く DE VRIES によつて SCHIMPER の用いた意味と全く別の意味、即ち上側に伸長成長が偏る場合に対して用いられた。此場合上側が凸出する様な形に軸の屈曲が現れる。尤も此処に上側と言うのは重力方向に対する物理的な上側と言う意味ではなく、生理的な上側、即ち背側を指すものであるから、之に対し前綴を Epi- とするより Dorsi- とする方が適當であると MÜNCH (1938) は述べている。尙、彼は Nastie は Tropismus と同様一種の成長運動を示すものであるが、後綴の -ismus は Egoismus, Idealismus 等の類語に見る如く或現象を示すものでなく、或傾向を指すものであるから、成長運動の現象をあらわすためには Tropismus は Tropie とすべきであり、又その傾向を示す場合には Nastie は Nastismus と呼ぶべきであると言つている。

之等に当る日本語も種々あり、Epi- 及び Hypotrophie に当るものとして上側成長及び下側成長(藤岡光長)、上偏性及び下偏性(三好學)、傾上性及び傾下性(小倉謙)等が用いられており、Epinastie に当るものとして上側傾動性(山口)、上偏成長(瀧瀬、坂村)等がある。背側が凸出する様な成長屈曲は従來背側に伸長成長が大なるに基くと考えられ、背側伸長性なる語を充てた事もあるが、濶葉樹の枝では背側の組織が收縮する事によつてかゝる屈曲の起るのが認められるから、此語は不適當となつた。Nastie を傾動性と訳するならば Epinastie 又は MÜNCH の所謂 Dorsi-nastie は傾腹性とでもするのがよいかもしれぬが、茲には原語のまま用いる事とする。

樹木に於ける屈地性屈曲は直径の大となるに従い、次第に不活潑となるが、ENGLER (1924) は Fichte にて径 10cm の部分に迄起つた例を挙げている。かゝる太い軸に屈動を起す機構に就ては従來種々の考察が試みられたが、適當な判断を得るに至らなかつた。筆者は先に屈地性とアテの形成が密接なる関係を有する事を認め、MÜNCH (1937) はアテの組織の内部応力を調査して針葉樹のそれは伸長せんとする、濶葉樹のそれは收縮せんとする応力を有する事を見出した。

クロマツ等、針葉樹の幹を傾斜し下側の皮を形成層迄除いてアテの形成を制限すると屈地性は現れないが、上側の皮を除いたものでは下側にアテを生じ、屈地現象は明かに起る。側面を剥いだ場合は形成層の損われない側の下面にアテを生じその反対側へ屈曲が進行する。

濶葉樹の幹に就て同様の実験を行うと、上面の形成層の損われない限りアテをその側に生じ、屈地性は進行する。故に針葉樹のアテは縦の方向に伸長し、濶葉樹のアテは收縮して屈地性を現すと見る事が出来る。

従來針葉樹のアテは Druckholz と呼ばれ、圧縮強度が大であつて、彎曲に際し縦圧の加わる側にその刺戟によつて生じ、樹体を支持する意義があると考えられていたが、茲にその名称はそのまゝとして、縦の方向に伸長し能動的に圧力を加うる材の意味を有するものとせねばならぬ。又濶葉樹のアテは Zugholz と称せられ、縦の方向の張力に抵抗する意義あるものとされていたが、茲に能動的に收縮して張力を及ぼす材と言う事になる。

この様に一側的に生ずる組織の圧力又は張力によつて、既存の組織の抵抗にうちから、且自体の荷重に抗してかなり太い部分に迄屈曲を起すには、相当大なる力を要する筈であるが、アテの

組織は成長と共に量的に増加し、その力の累積によつて次第に屈曲を進行せしめるに至るのであろう。併し之にも限度があり、著しく太い軸の部分では遂に屈曲を起すに至らない。従つて外見上屈曲を起さない部分にもアテは形成し、屈地性反応は継続するとせねばならぬ。

嘗て BÜCHER (1906) は屈地性屈動能力を有する莖を水平に保ち、その上向屈曲を制限すると上下両側に生ずる組織に質的並びに量的の相違が現れる事を認め、之を Geotropismus と呼んだ。屈地性刺戟の感受は一般に莖の先端より基部に向つて減少し、伴長成長の終つた部分にて急に消失すると言われている。樹木の屈地性屈曲もたしかに第二期肥大成長を開始し、材の組織の増加するに従つて不活潑となる。併し屈曲を起すべきアテの形成は軸の傾斜せる限り継続するから、屈地性刺戟の感受と反応は太い部分にて消失するとは言えぬ。従つてアテの形成は Geotropismus の 1 の場合と見て差支えない。

又 BÜCHER (1906) は莖を彎曲した場合、その凹側と凸側に生ずる組織に Geotropismus に際して現れると同様の質的及び量的の相違が認められるとし、之を Kamptotropismus と称している。針葉樹の幹を水平にして、その水平面内に彎曲すると、アテは下側に沿うて生ずるが後にそれは彎曲の外側へ轉じ、新しく生ずるアテは常に下側或は彎曲の稍々内側へ偏つて現れるのを見る。併し之は彎曲の際の機械的刺戟に基くものではなく、屈地性反応として下側に現れたアテが、其組織の伴長に際し抵抗の少い彎曲の外側へまわり、之によつて軸を回旋せしめたものと考えられ、AMBRONN の所謂 Mittelbare Torsion に当ると見られる。尙、此際長く傾斜しておいた軸は重力によつて生理的背腹性が多少附与されるから、枝を回旋したと同様の関係のアテが現れ、彎曲の内側へもアテが偏るものであろう。

要するにアテは機械的な縦圧の刺戟によるものではなく、重力の作用に基いて現れ、その形成によつて屈地性屈曲が起るのであるから、アテの形成を伴う偏心成長と屈地性は一連の関連した現象であると言う事が出来る。

屈地性は言う迄もなく軸の横断方向に作用する重力の刺戟によつて起る。重力の横断方向に於ける分力は軸が鉛直より傾斜するに従つて増加し、屈地性反応も亦軸の傾斜角の正弦に比例する、即ち正弦法則に従うが、之は間歇刺戟の場合によく当てはまり、継続刺戟の場合には軸の位置が  $90^\circ$  より大なるところに最大刺戟位があると言う。而して其理由は軸に平行の方向に作用する重力の分力が影響するからであると考えられ、しかもその影響は屈地性屈曲の方向を左右するものではなく、その程度を調整するものであるとされている。此分力を重力調律性縦力 Geotonische Längskraft と呼ぶ。かかる現象は例えば *Vicia Faba* の根を水平にして其儘屈地性刺戟を与えた場合よりも、之を水平に回轉する盤の上に先端を外方にして載せ、重力の他に同時に軸に平行する遠心力を作用せしめた場合の方が、屈曲反応が遅れると言う様な実験によつて証明されている。又 *Lepidium* の根を水平において或時間屈地性刺戟を与え、後鉛直の正位又は逆位に5分間置き、更に植物回轉機によつて重力の一側的作用を除くと、正位に置いたものは逆位に置いたものより屈地性の示顯時間が著しくおくれ、前者の5分に対し、後者は10分を要したと言う例がある。之は根の軸に平方の方向に作用する重力が正位に於て屈地性反応の示顯を制限し、逆位に

於て促進する事を示すとされる。<sup>9)</sup>

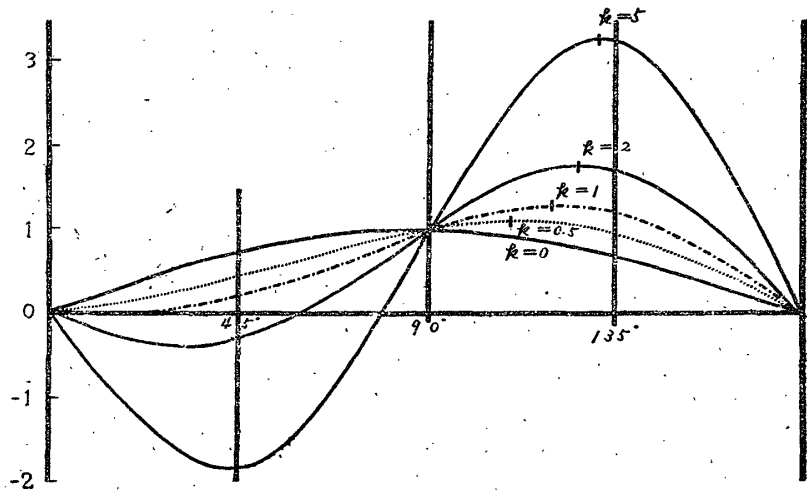
METZNER (1929) は屈地性屈曲の方向と強さを決定する重力の横断方向の分力と、反応の程度に影響を与える縦断方向の分力とを区別し、前者は傾斜角  $\alpha$  の正弦に従うものと考え、之を  $g \cdot t \cdot \sin \alpha$  にてあらわし、後者は大体傾斜角の余弦に比例し、又屈地性刺激の大小により、又器官により相違すると見て之を  $g \cdot k \cdot t \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$  であらわす事とし、此両者の差が結局現れる屈地性反応  $G$  であるとした。之を式で示すと

$$G = g \cdot t \cdot \sin \alpha - g \cdot k \cdot t \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

$$= g \cdot t \cdot \sin \alpha (1 - k \cdot \cos \alpha)$$

となる。こゝに於て  $g$  は重力の刺激、 $t$  は刺激時間、 $\alpha$  は軸の傾斜角、 $k$  は器官によつて相違する係数である。この  $k$  の値を種々にとり、 $G$  の値を求めて実際と照合すると説の当否が判断される。第3図は  $g \cdot t = 1$  とし、 $k$  の値を 5, 2, 1, 0.5 及び 0 とした場合の  $0-180^\circ$  に於ける  $G$  の曲線である。之によつて

第3図  
 $G = \sin \alpha (1 - k \cdot \cos \alpha)$  の曲線



見らるゝ様に、屈地性反応  $G$  の最大位が  $90^\circ$  より大なる場合は  $k$  の値を 0 より大とせねばならぬが、 $k$  があまり大となると  $90^\circ$  以内の部分にて  $G$  は負値となり、屈曲反応が反対の方向に向う事を意味する様になるから事実と合致しない。 $k=1$  とすると最大反応の位置は  $120^\circ$ 、 $k=0.5$  とすると  $110^\circ$  の附近にある事になる。然るに實際上幹の偏心成長は軸の傾斜が  $90^\circ$  より稍々小なる位置にて最も著しく、 $90^\circ$  を超して下向すると全体として成長低下し、アテの形成も少くなる。特に潤葉樹に於ては軸が水平に近附くに従い上側に萌芽を生じ、或は枝の成長が旺盛となつて主軸の成長は著しく衰える。従つて上式は其處には適用されない。

重力の作用は夫が継続する場合、軸が逆位即ち倒立に向う程一般に成長を制限すると見られるから、長期間に亘る実験では寧ろ此関係が強く現れるとも考えられる。

枝に就ては更に複雑である。枝の偏心成長が背腹性に基くものと、重力の作用によるものとに分れる事は既に述べた。又枝の成長運動には背腹性に基く Epinastie と、重力の作用による負の屈地性がある事も前述せるところである。実際樹木の枝に於て草本の枝又は葉に見られる様な Epinastie が存する事は、之を重力の一側的作用を除く様に鉛直に上向或は下向の位置におくか、又は軸を水平にして植物回轉機にて回轉した場合に、向腹屈曲 Dorsikonvexkrümmung が現れる事によつて認められる。而して此屈曲の現れる位置に於てアテの形成の起る事も既に述べた通りである。従つて樹木の Epinastie も亦屈地性屈曲と同様にアテの組織の形成によつて



起ると言う事が出来る。

Epinaetie は重力の方向に対し如何なる位置に於ても起るから、之と切り離して屈地性のみを確かめる事は出来ないが、斜向性休止位に於ては之と Epinastie が均衡すると考えられるから、休止位の傾斜角を保つて枝を回轉すると背腹相称面は鉛直より離れ、Epinastie と屈地性の作用方向が一直線をなさぬ様になり、両者の合力方向に屈曲が現れるから其存在を認める事が出来る。而して此場合に於けるアテの形成状態は前に第2図に掲げた通りである。このアテの形成によつて屈曲が起るのであるから、枝に於けるアテの形成を伴う偏心成長は屈動性にも傾動性にも関連する現象であると言う事が出来る。

枝に於ける屈地性は RAWITSCHER (1923) に従うと、前にも述べた様に背腹側には関係なく、屈動の方向は常に鉛直面内にあり、其程度は正弦法則に従うものであると言う。又Epinastie は軸の傾斜角に関係なく、その屈曲方向は背腹相称面内にあり、その程度はすべての位置に於て同じであると言う。而して此両者が合成して枝の屈曲の方向と程度が定まるものであるとされるから、背腹相称面が鉛直面に一致する場合の屈曲は  $g \cdot t \cdot \sin \alpha - E$  と言う関係で示される。茲に於て E は Epinastie である。  $g \cdot t \cdot \sin \alpha$  は  $\alpha=90^\circ$  の場合に最大であり、E は不変とする

と結局屈曲の最も著しい位置も水平にあると言う事になる。又枝の斜向休止位は  $g \cdot t \cdot \sin \alpha = E$  のところであるが、水平の位置に於て屈地性は常に Epinastie を凌駕するから、両者の均衡する位置は水平に対し相称的に上下2箇所にある筈である。第4図は此関係を示す。

然るに実際に於ける枝の斜向休止位は  $50-60^\circ$  と  $150-$

$160^\circ$  の附近にあつて両者は水平に対し相称をなさぬ。ZIMMERMANN (1927) は Ramenculus の匍匐枝に就て同様の傾向を認め、次の様に説明している。即ち、斜向性器官に於ては重力の一側的作用によつて負の屈地性と同時に正の屈地性が現れ、後者は Lepidium の根に於ける実験に認められた様に重力の調律性縦力の影響を受ける、而して此縦力は上向位にて正屈地性を増大し、下向位にて減少せしめると言うから正屈地性の最大は水平より少々上向したところになる。此関係を式にすると

$$pl = g \cdot t \cdot \sin \alpha - p \cdot g \cdot t \cdot \sin \alpha (1 + k \cos \alpha)$$

斜向性 負屈地性 正屈地性

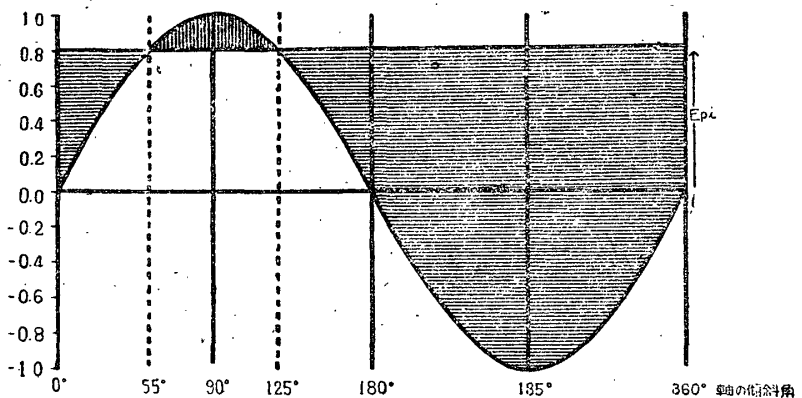
茲に於て p は両屈地性の比を示す係数である。實際上正屈地性の方が負屈地性より小さいか

第4図

$pl = g \cdot t \cdot \sin \alpha - E$  の曲線

$gt = 1, E = 0.8$

縦線は向背屈曲、横線は向腹屈曲の起る位置



ら  $p$  は 1 以下となる。 $g \cdot t$  を 1,  $k$  を 0.5,  $p$  を 0.85 として之を图示すると第5図の様になり,  $65^\circ$  の附近にて正負均衡し,  $125^\circ$  の附近にて負屈地性は最大となる。

併し之によつては枝の斜向性を説明をするに明かに不備である。何故ならば, 此式は両屈地性に対し共に正弦法則を認めるもので, 鉛直即ち  $\alpha$  が  $0^\circ$  又は  $180^\circ$  の場合, 両屈地性共に 0 となり屈動は起らない事になるが, 実際枝は鉛直に上向しても下向しても向腹屈曲を起すからである。

ZIMMERMANN 等によつて正屈地性と呼ばれている屈曲は普通見る屈地性の傾向と甚しく性格を異にし, 屈地性之名にふさわしからぬ点がある。枝を水平に保ち植物回轉機にて回轉し, 重力の一側的作用を除いた場合に起る向腹屈曲は, 之を正屈地性の後作用と見るにはあまりに長時間に亘り持続するから, むしろ DE VRIES に従つて *Epinastie* とした方が適當であらう。この *Epinastie* を RAWITSCHER の言う如く, すべての軸の位置にて同一とし, 負屈地性のみが重力の調律性縦力の作用を受けるものとし, 両者の合成によつて斜向性が現れるとすると其関係は次式の様に表示される。

$$pl = g \cdot t \cdot \sin \alpha (1 - k \cdot \cos \alpha) - E$$

而して  $k$  を 0.5 とし,  $E$  を軸の傾斜  $55^\circ$  にて屈地性と均衡する様な場合を图示すると第6図の如くなる。

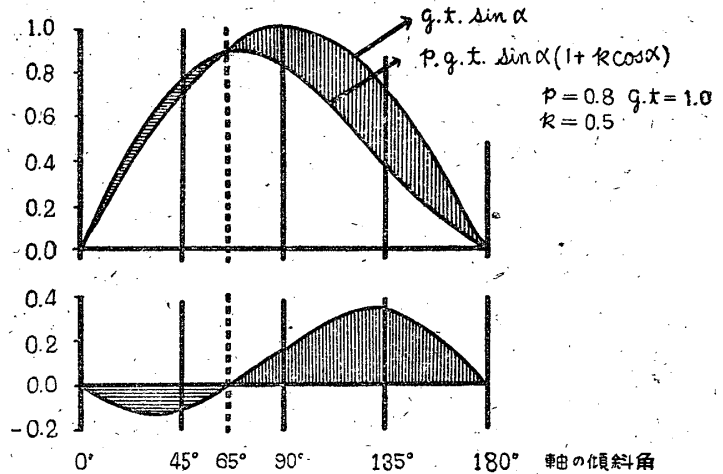
図に於て  $180-360^\circ$  の間は背腹側が上下顛倒し, 屈地性と *Epinastie* の屈曲方向が一致し, 両者は和として現れるが, 最大反応位は図に於て左右相称, 即ち背腹正位に於て  $110^\circ$  にあ

る場合は背腹逆位にて  $250^\circ$  の附近にある事になる。然るに実際に於てアテの形成の最も著しい位置は略々  $100^\circ$  と  $300^\circ$  の附近にあり, 両者は  $180^\circ$  線に対し相称をなさぬ。

此処に注意されるのは *Epinastie* も亦重力調律性の影響を受けるに非ずやと思われる現象が

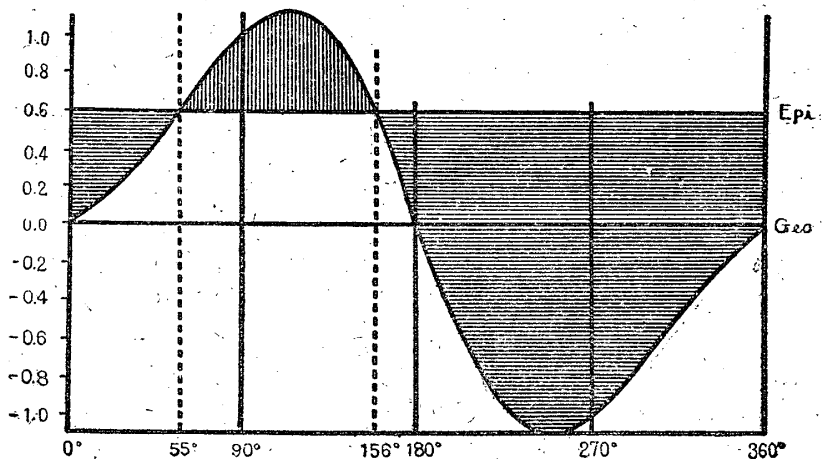
第5図

$pl = g \cdot t \cdot \sin \alpha - p \cdot g \cdot t \cdot \sin \alpha (1 + k \cos \alpha)$  の曲線  
縦線は向背屈曲, 横線は向腹屈曲の起る位置



第6図

$pl = g \cdot t \cdot \sin \alpha (1 - k \cdot \cos \alpha) - E$  の曲線  
 $g \cdot t = 1, k = 0.5, E = 0.58$



ある事である。少くともアテの形成は枝の上向せる場合の方が、下向せる場合よりも大である。アテの形成は1の成長現象であり、成長は一般に軸が逆位に向うに従つて減退するものであるから Epinastie を起すべきアテの形成も軸の位置によつて変化し、下向位は上向位より、背腹逆位は正位より成長が制限されると考えて差支えないであろう。この関係を考慮に入れて Epinastie を傾斜角に応じ変化する様に作図すれば、<sup>56) P61</sup>前報に掲げた様な曲線を得、之は実際の偏心成長の傾向と略々一致するのが認められる。

しかし此説明にも理論上不合理な点がある。それは重力調律性の影響が負屈地性に関しては軸が正位に向う程制限的であると、Epinastie に対しては逆位に於て制限的であったとした事である。むしろ幹の場合に考察した如く、長期に亘る継続刺戟の場合は、すべて成長は逆位に向うに従い制限されると見るべきものであらう。

この意味の重力の制限作用が如何なる形で現れるかに就てはなお研究を要するが、枝に就ては上下と背腹の組合せによる逆位が考えられ、傾斜角の正弦と余弦の和に比例して Epinastie が制限されるものとするれば斜向性は次の様な式で示される。

$$pl = g. t. \sin \alpha (1 + k \cos \alpha) - E \{1 + K (\cos \alpha + \sin \alpha)\}$$

斜向性 負屈地性

Epinastie

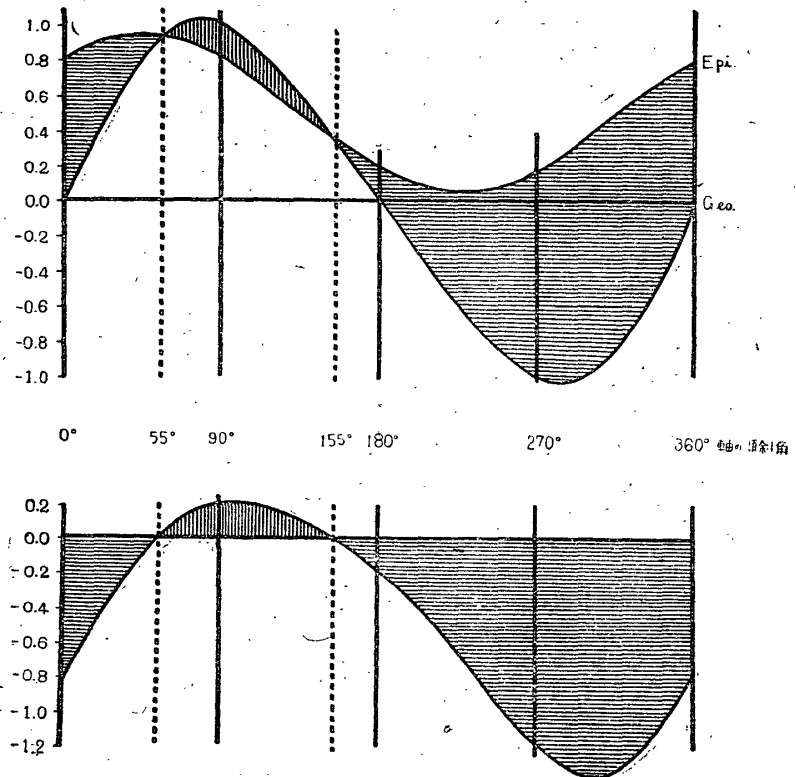
此処に於て k 及び K は夫々の場合によつて定められる係数である。今 g. t を 1, k を 0.25 として負屈地性の曲線を描き、それが傾斜角 55° 及び 155° にて均衡する Epinastie を求めると E は 0.49, K は 0.64 となり、之によつて上式の曲線を作ると第7図 A の様になる。又同図 B はスギの枝の輪状彎曲に現れたアテの形成曲線であるが、その最大は 100° 及び 300° の附近にあり、前の図 A の曲線と対比して傾向のよく一致せるのを見る。更に種々の傾斜角にて枝を回轉し屈地性を除いて Epinastie の程度を比較すれば式の是非が判断されるであらう。

しかし茲に注意しなければ

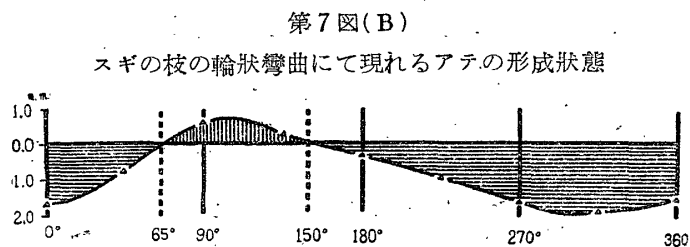
第7図 (A)

$pl = g. t. \sin \alpha (1 + k \cos \alpha) - E \{1 + K (\cos \alpha + \sin \alpha)\}$  の曲線

但し g. t = 1, k = 0.25, E = 0.49, K = 0.64 とす  
縦線は向背屈曲、横線は向腹屈曲、針葉樹にて  
前者には腹側へ、後者には背側にアテを生ずる位置を示す。



ならぬのは Epinastie は固定不変のものではない事である。例えば主軸の頂部を切り去るか、或は輪截によつて頂部との皮部の連絡を断つ時は下位の側枝に上向屈曲が現れるが、之は



Epinastie の消失に基く。挿木、接穂等母軸と分離された枝が背腹性を失うのも同じ理である。反対に頂部に新しく萌芽が伸長する時はそれより下位の枝が傾下するのは、Epinastie が増加するのである。又かゝる主軸と側軸の関係を別にしても、長時間傾斜して重力の一側的作用の下におくと幹と雖も次第に Epinastie を附与され、反対に枝も鉛直の位置に長くおけば Epinastie を消失する。枝を回旋してその背腹相称面を鉛直面より動かすと、長期の間には新しい上下の方向に生理的背腹性が現れる、自然に於て荷重の増加等により枝が次第に傾下し、前述の 155° 附近にある筈の不安定休止位を超して下垂した例は珍らしくないが、之に向腹屈曲を起したものは殆んどない。之は徐々に傾下した場合、それに従つて重力の横断方向の分力が減少するが、Epinastie も減少して、屈地性と均衡する位置が更に下向の位置に移るためとも考えられる。要するに Epinastie は上位の枝又は主軸の存在によつて増加し、又重力の一側的作用によつて附与され、之等の影響を除けば次第に消失する傾向がある。而して此変化は樹種により、部分により多少の難易があり、概して濶葉樹は針葉樹より、新しい軸は古い部分より変化し易いと認められる。

軸頂部を切り去るとその下の側枝に Epinastie が消失すると言う事は Epinastie の成立に頂芽又は頂軸が影響する事を物語るものである。しかも其影響は輪截によつて絶たれるから、Epinastie の成立に関与する物質は頂芽又は頂軸に生じ、皮部を通じて基部の方へ傳達されると考えられる。而して第二期肥大成長に入れる枝の Epinastie は前に述べた様にアテの形成によつて起るものであるから、結局アテの形成に与る或種の物質が頂軸部に生ずる如く想像される。

幹を傾斜し、且一部を輪截する時は夫より基部の方へ或距離に互りアテを生ぜず、勿論屈地性を現さない。併し此場合アテのみならず、輪截部より下に葉のない時は全く肥大成長を起さない。然るに針葉樹の場合下側の半周のみを輪截する時は、処理部の両側を迂回してアテの形成は基部の方へ連なる。又幹の頂部が傾斜した場合、その部の下側に生ずるアテは同側に沿うて直立せる基部へも或距離迄連つて現れる。之等の現象はアテの形成に与る物質が頂部より基部へ皮部を通じて傳達される事を想像せしめる。

屈地性を起すアテも、枝の Epinastie を起すアテも構造上全く同じであるが、一は重力の作用により、一は枝の背腹側に従つて別種の配置をとる点に相違がある。併し之が同一横断面にて同時に關係する時は夫々独立に出現するものでなく、両者の合成的な方向に生ずるものであるから、アテの形成に与る物質は両者の關係によつて予め整理統合され、其結果としての量と分布に従てアテを生ずるとせねばならぬ。此際の整理統合の様式が前に示した様な式で表現されるかどうかはしかし猶研究を要する。

屈地性の刺戟感受の機構に就ては、嘗て平衡体 (Statolithen) としての可動性澱粉粒の存在

が注目されたが、その根拠は近時薄弱となり、或種のホルモンが刺戟物質として関与すると言う説が有力となつている。何等かの屈地性を起すべき物質が傾斜した茎の下側に集ると言う事は既に LOEB (1917) が *Bryophyllum* に就ての実験によつて想定し、NAVEZ 及び ROBINSON (1933) は *Zea Mays* の子葉鞘を傾斜した場合、成長を促す物質として知らるゝオーキシンが下側に偏る事を確かめた。BOYSEN-JENSEN (1936) は *Phaseolus* の茎を傾斜し、上側と下側のオーキシンをクロロフォルムにて抽出定量したのに下側に僅に多い程度であつたが、之は拡散性のない結合状態のオーキシンも取り出されたからであろうと言う。

*Epinastie* に就ても UYLDERT (1931) はオーキシンの不等分布によるものと考えている。*Tradescantia* の枝を鉛直の位置におくと背側にオーキシンが偏り、水平にすると腹側に偏ると言うが、前者の場合は背腹性に基き、後者の場合は重力の関係に従うオーキシンの偏りを示すものであろう。而して両者が均衡するところはオーキシンの偏りを来さず、従つて屈曲は現れない。

枝の *Epinastie* が頂芽の影響を受ける事に関し、嘗て ERRERA (1904) は頂芽が一種の内分泌を下すと想像した事があるが、THIMANN 及び SKOOG (1933, 1934) は之をオーキシンの作用であると考えた。併し頂芽から幹を下るオーキシンが如何にして枝の成長に影響するかを説明する事は今猶困難である。LEFANU (1936) はインドール醋酸のラノリン軟膏を *Pisum* の茎の頂部に塗布した時その成長は促されるが、基部に塗布した時は制限されると言う。併しオーキシンは常に向基的に移動するものとされており、幹より枝の先端に移動する様なホルモンは知られておらぬ。只此処に *Epinastie* を起すアテが枝の基部より現れる傾向がある事が注目される。それは *Pinus* の側芽にて見られるもので、初め側芽は主軸に平行に鉛直に伸長するが、第二期肥大成長を始める頃基部より向腹屈曲を起し、若し人為的に之を妨げると基部の背側に著しいアテの形成を来す。併し幹より遙に離れた古い枝の頂芽に迄同様の傾向が現れるから其理由の説明は簡単でない。

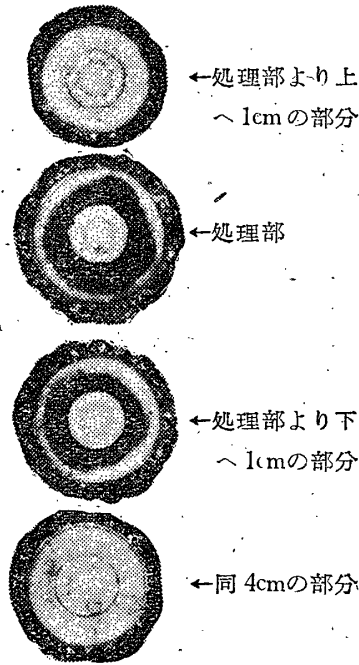
斯の如く詳細な点に於て猶不明のところは尠くないが、兎も角草本植物に於て屈地性がオーキシンの偏りにより下側の伸長が促されて起り、枝の *Epinastie* は背側にオーキシンが偏る傾向があるに基く事は今日先ず動かぬところであろう。樹木に於ては之等の成長運動はアテの形成によつて起るものであるから、アテの形成も亦オーキシンの偏りに基くものではないかとの想像が起きる。

成長素が形成層の活動を促す事に就ては、既に SNOW (1933), GOUWENTAK (1936), SÖLING (1937) 等の実験によつて知られているが、筆者 (1940) は試みにヘテロオーキシンの 0.5% ラノリン軟膏をクロマツの2年軸の表皮下に塗布したのに、その下に局所的乍ら明かにアテの形成を認める事が出来た。クロマツのみならず、イチヨウ、イチイ、ナギ、コウヤマキ、マキ、ヒノキ、アスナロ、コノテガシワ、ヒマラヤシーダー、スギ、ランダイスギ、タイワンスギ、ラクウシヨウ、チヨウセンマツ、カラマツ、モミ、ツガ、トウヒ等の針葉樹に就ても皆同様の結果が得られた。ヘテロオーキシンは植物に対する種々の生理作用に於てオーキシンに代替する性質があるとして知られている物質である。而して之によるアテによつても軸に屈曲が起る事も認め

られる。第 8 図はその実験例を示す。此処に於て筆者 (1942) はアテの形成は成長素の量的関係によつて起ると考え、傾斜した幹に於てアテを形成しつつある部分の成長素を定量してみた。樹木に於ても WENT の寒天に拡散せしめる方法により燕麥子葉鞘に屈曲を起さしめる物質が得られる。夫が既知のオーキシン a 又は b であるか否かは明かでないが、兎も角成長素に属するものと見て差支えない。而してそれは形成層の附近にのみ見出されるから横断面上形成層輪の長さ 1cm に対する燕麥平均屈曲度を以て比較すると第 1 表の如くである。

第 8 図

Heteroauxin 処理によつて形成せるアテ。クロマツ 1 年軸中央部の全周に 0.5% ラノリン軟膏として 6 月中旬に塗布した結果を示す。



第 1 表 傾斜した幹の上下側に於ける成長素の比較  
(材料クロマツ幼齡木)

測定日	傾斜後の日数	年 軸	上 側	下 側	標 準
6. 11	—	2	6.2	26.9	—
〃	—	2	14.9	26.0	—
7. 9	30	1	22.1	28.8	23.3
16	3	1	11.3	13.2	10.2
8. 21	20	1	5.6	21.5	
〃	20	1	9.4	32.7	
〃	20	2	10.2	31.0	
9. 3	3	1	11.3	17.7	16.0
5	8	1	17.9	34.7	
12	5	2	9.5	16.5	12.0
19	—	1	12.4	22.0	21.4
27	30	1	19.2	38.4	30.0
10. 15	—	1	11.8	16.4	16.0
23	60	2	9.0	22.6	13.0

標準は同様の大きさにて直立せるものを選定比較とした。

成長素量は形成層 1cm に対する燕麥平均屈曲度にて示す。

之によつて見るとアテを形成しつつある下側は、その反対側に比較して確かに成長素に富む。しかし直立し、アテを生じない軸と比較すると必ずしも著しく多いとは言えない。又表によつてアテを形成する場合の成長素の濃度限界を求める事も出来ない。之はアテの形成に際し成長素を消費する事も著しく、寒天に拡散する量が却つて減少する関係によるかとも想像される。アテの形成には尙一つの特例の場合が知られている。筆者がクロマツの芽を伸長開始前より黒紙にて包み、光の遮断下に成長せしめたのに其軸の全周にアテの組織の生ずるのが認められた。此場合軸は同化作用を行わないが成長素は形成される。此処に於て同化物質の割合に成長素が多くなり、その関係によつてアテの形成が現れたとも考えられる。然らばアテの形成条件は成長素の絶対量のみを以ては定められないと言う事になる。

尙濶葉樹のアテは現在人工的に成長ホルモソ剤等にて形成せしむるに成功しておらぬ。之等に

就ては更に研究を要する点が多い。

### III 自然は於て現れるアテの形成状態

#### A. 幹に於ける場合

幹に於てアテの形成は前述した様に横断方向に作用する重力の影響に基くものであるから、正しく鉛直の位置にある限りアテを生ずる事はない。俗に言われている様に陽光に浴する事の多い側がアテとなるわけではなく、又枝葉の偏りによつて、枝の多い側がアテとなる様な事もない。実験的に樹冠の片側の枝を除いても、全体としての成長を減じ、枝を残した側にアテを形成する事はない。只針葉樹にて少数の太い枝が一方的にある場合、その枝の下側に生ずるアテが幹の同側に連る例はある。又実験的に数時間宛幹の傾斜を間歇的に繰返す時は、その方向に従てアテを生ずると言う報告がある。尤も人工的な風によつて短時間宛の傾斜を繰返してもアテは生じないと言う実験もあるから、幹の直立せる限りアテは形成しないと考へて差支えない。

要するに幹に於けるアテの形成は軸の傾斜に伴い、傾斜の程度と平行的に増加し、水平に近い位置に於て最も著しい。しかしその程度は傾斜角によつて簡単に定められるわけではない。同様に傾斜せるものでも被圧木、老木等成長の衰えたものではアテの形成も少く、優勢木でも長く傾斜せる間には次第にアテの分化程度を減ずる傾向がある。又軸の位置は元來固定的のものではなく、アテの形成に伴い次第に屈地性屈曲を起して鉛直に近付き、或は風、雪等の外力によつて更に傾倒する事もある。現在直立せる部分も嘗ては傾斜せしものがあり、それには其當時に生じたアテを内部の年輪に含む。従て現在の樹形によつて既往に於けるアテの形成状態を定める事は困難であるが内部の年輪に現れたアテによつて既往の樹形を判断する事は出来る。

自然に於て見出さるゝアテの形成状態は甚だ多様であるが、その主要なる場合に就て次の如く類別し若干の説明を加える事とする。

#### 1. 一横断面に於て内部の年輪にアテを生ぜる場合

之は幹の細い時代に於て傾斜した事を示すものである。細い時代は外力によつて倒伏され易いが、屈地性屈曲能力も著しく直立位を恢復し易いから、現在直立せる部分にも之を認める事が多い。

#### 2. 一横断面上外部の年輪にアテを生ぜる場合

之は幹の太い部分の傾斜した事を物語るもので、屈地性屈曲は現れ難いから、現在傾斜せる部分に認められ、その傾向は長く続くが、傾斜程度は変らなくともアテの形成程度は次第に弱変となる傾向がある。

#### 3. 一横断面上中部の年輪にアテを生ぜる場合

之は或時代に一時傾斜した事を物語るもので、壯齡木でも強い風には傾斜されるから、暴風等に際して僅に傾き、後直立位を恢復した様な場合に現れる。昭和9年9月関西地方を襲つた颱風によつて本学上賀茂試験地の樹木は殆んど傾倒したが、その中傾斜の著しくないものは数年の中に直立し来り、現在外觀上その形跡を認めないものにも当時の年輪にアテを生ぜるものが多

い。第9図はその例である。

濶葉樹に於てはアテは傾斜当初にのみ特に著しく現れ、その後直立するに至らない部分でもアテの形成は弱度となる傾向が著しい。従て現在傾斜せるものにも此型の例が屢々認められる。

4. 一横断面上殆んど全部の年輪にアテを生ぜる場合

之は軸の細い時代より傾斜し、遂に直立するに至らなかつた部分に現れ、傾斜地、崩壊地、風衝地等にある樹木の基部にその例が多い。

5. 同一年次の年輪にて頂部にのみアテを生ぜる場合

之は頂部の細い部分のみが彎曲傾斜したときに現れる。かゝる部分は屈地性にて再び直立し

アテの形成は減少する可能性も多いが、濶葉樹には頂部が重力の外光の影響により一方に傾く場合があり、此様なものには傾斜の程度に比較してアテの形成は著しくない。

6. 同一年次の年輪にて基部にのみアテを生ぜる場合

之は地亡地、風衝地等にて幹が傾斜し、その後屈地性が現れても基部迄直立するに至らなかつた場合等に現れ、此傾向は長く続く。

7. 同一年次の年輪にて幹の中部にのみアテを生ぜる場合

之は主軸の損傷により枝が代償主軸となつた場合、その枝の基部の傾斜が失われ難く局所的にアテを生ずる場合等に見られる。特に Pinus の如く萌芽性が少く、枝によつて代償主軸が生じ易いものに此例が多い。

8. 全軸に亘りアテを生ぜる場合

之は風倒等により倒伏したまま成長を続けたものに見られる。此場合も先端には屈地現象が現れるが、先端の成長の衰えたものでは殆んど全軸に亘り此傾向が継続する。

9. 一横断面上アテの形成が一方向的なる場合

之は傾斜せる樹木に普通であるが、傾斜方向が変化しない事を条件とする。

10. 一横断面上アテの形成が2又は夫以上の方向に現れる場合

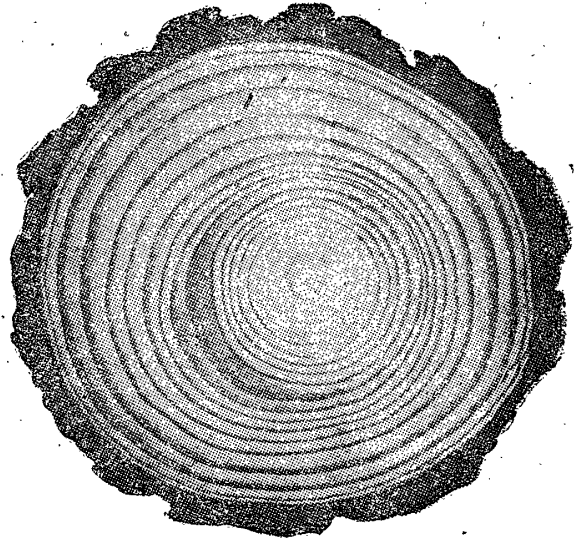
Pinus 等に屢々見られる如く同じ枝階の枝が2本以上直立して代償主軸となつた様な場合、その下の横断面には枝のある側に夫々アテを或距離迄生ずる。又“く”の字形に彎曲した部分にて時として上下両側にアテを生ぜる例がある。

全周にアテを生ぜる例は自然に於て殆んど認められぬが、実験的に幹を水平にして回轉した場合、光の遮断下に成長した芽等に現れる。

第9図

昭和9年9月関西を襲つた台風を記録せるアテの例。

上加茂試験地内アカマツ。現在は殆んど直立せる幹。 1/2





11. 一横断面上アテの形成側が変化せる場合

之は軸の傾斜方向が時と共に変化した事を物語るものである。その中從來と全く反対の方向に轉向する例は屈地性屈曲の著しい部分にて頂部が直立位を超して反対側へ傾き、超過屈曲となつた部分等に認められる。

又一側より他の側へ急に变化する例は暴風による顛倒、地之崩壊地に於ける地盤の变化等に際して現れる。又一側より僅宛次第に一方へアテの形成側が移動せる例は螺旋状に彎曲した幹等に認められる。その著しい例を FABRICIUS 等が紹介しているが、之等はおそらくアテの形成による屈地性屈曲の方向が、樹冠の偏りによる荷重の偏在、既存のアテの屈曲に対する抵抗、頂部の成長に伴う重心点の移動等に影響されて軸の傾斜方向が僅宛一方へ変化したによるものであろう。

12. 一横断面の同一年輪の同じ側にてアテの形成程度の変化する場合

同じ年輪にて秋材部に偏つてアテの形成程度が著しくなる例は僅に傾いた針葉樹に見られる。芽の伸長に伴い荷重が増加し、傾斜が進行するによとも考えられる。反対にアテが春材部に偏つて著しい例は濶葉樹の傾斜した若い軸に屢々見られる。濶葉樹の春芽は急に伸びて葉を開き、その荷重の増加によつて軸は著しく傾下するが、アテの形成に伴い次第に上向するのはよく見るところである。かゝる場合成長期の後期にアテの形成を減ずるわけである。

13. 同一年次の年輪にて高さによりアテの形成側の変化せる場合

アテの形成の程度と方向は夫々の部分の重力方向に対する傾斜関係によつて局所的に定まるものであるから、屈曲せる幹に於ては夫に従てアテの形成状態を変化する。

B. 枝に於ける場合

枝は重力方向に対し或傾斜した位置に於て屈地性の休止位をとるものであるが、自然に於ては成長に伴い自体の荷重を増加し、休止位より傾下せるものが多いから大抵のものにアテの形成を認める。併し其程度は水平に近い位置に於ても幹に比較すると著しく弱度である。背腹性に基くアテの形成の傾向が屈地性に基くものと相殺するからである。背腹逆位となると両者の方向が一致するから著しいアテの形成を現すが、自然に於ては此例を見る事稀である。只枝が振れ、又は母軸の傾斜に伴つて背腹相称面が鉛直より離れた場合、アテが斜の方向に現れる例は珍しくない。

枝の先端は屈動能力に富みその位置を速かに調整するからアテを生ずる事は少いが、基部に向つて或は太い部分に於てアテを生ぜるものが多い。尙枝は伸長に伴い荷重を増加する他下枝では基部の肥大成長が衰え、又屈光性も影響して次第に傾斜下向する傾向があり、樹冠の上部の枝より下部の枝にアテの形成が著しい。只あまりに成長の衰えたものではアテの分化も不良である。一横断面に就て見ても中央に近い年輪はアテが少く、又外部の狭くなつた年輪にもアテは不明瞭である。

C. 根に於ける場合

根には一般にアテを生ずる事がないと言つてもよい。地中にある樹木の根の第二期肥大成長に

入れるものには屈地現象は起らないのであろう。しかし空気中に曝露した根には幹と同様の側にアテを生じた例を見る事がある。それは幹が倒伏し、アテを生ぜる場合に同じ側に沿うて根にもアテを形成するのである。

地表に近い側根の基部には著しい偏心成長が現れ、特に濶葉樹には地表に露れて板根とよばれているものがあるが、アテの特徴とされる膠質層は殆んど認められぬ。

#### D. 自然に於てアテの形成に関係する間接的な因子

アテの形成に関する直接的な原因に就ては先に考察したが、幹に於けるアテの形成は要するに軸の傾斜に伴うものである。従て幹の傾斜を原因する因子はすべて間接にアテの形成原因と見る事が出来る。かゝる因子は自然に於て甚だ多い。就中主要なるものは風である。風は夫程強くない場合でも細い軟弱な部分は彎曲し易く、特に Pinus の芽條の如き、種々の方向へアテを生じたものがある。常風の方向に幹が傾斜し、之に従てアテが現れる例は欧州にも我国にも多数の報告がある。<sup>(1) 38) 44) 70)</sup>

幹の傾斜は常風のみならず、暴風の方向によつても決定される。アテの形成が暴風の季節より初まる例は屢々見られ、PILLOW (1931) の如きアテは暴風を記録するとさえ述べている。

機械的に樹木を傾斜せしめるものには更に積雪がある。樹冠に積る雪の荷重によつて幹が彎曲傾斜し、後に恢復したものでも彎曲の際凹側の形成層が傷を受け、癒傷組織とアテを生じた例が TRENDLENBURG (1940) によつて報告されている。

生理的に幹の傾斜を來す主要なものに光の偏りがある。針葉樹は屈光性を示す程度が少ないが、濶葉樹では可なり太いものでも屈光現象を起すといわれ、傾斜地林縁等にある樹木の梢は谷側、林外に向つて傾いている。かゝる部分にはしかし傾斜せる割合にアテを発達しないものである。屈光性が屈地性と 同様にアテの形成によつて起るか否かの 実験的な証明は 未だ行われていないが、おそらく此場合の梢の位置は屈光性と屈地性の合成的な安定位に近いものであろうと考えられる。

主軸の局所的な屈曲は又枝が代償主軸となる場合に現れる。之は主軸の損傷に伴うものであるから、主軸の損傷を原因する霜害、乾害、虫害等もアテの形成の間接原因となる。

樹形は樹種或は品種によるが、立地の状態、林相等により特徴的な点もある。傾斜地、高山、海岸等風衝地、林縁等にあるものは傾斜せる形のものが多く、急に疎開された森林では風、雪等にて幹が傾倒され易く、アテを生ずる場合が多い。

### IV 針葉樹のアテの解剖的構造

針葉樹のアテの解剖的性質は R. HARTIG (1901) が Fichte に就て研究し、其後 SONNTAG (1904)、PILLOW 及び LUXFORD (1937)、兼次 (1930) 等が種々の樹種に就て同様の観察をなし、筆者 (1939) も本邦産数種の針葉樹に就てアテと反対側の材とを比較した。茲に更に範囲を廣めて研究したところを記述する事とする。

#### A. 仮導管

1. 横断面に於ける形、大いさ及び排列

アテの仮導管は横断面に於て形円味を帯び、相隣るものとの間に細胞間隙を生じ、其排列は切線方向に少々不規則の観がある。細胞の放射方向の径は春材より秋材に向つて次第に小となる事、正常材と同様であるが、その対照が顯著でなく、正常材に比較すると春材ではアテの仮導管の方が少々小、秋材では少々大なる傾向がある。切線方向の径は正常材と同様か或はアテの方に少々小さい。第2表はその実測例である。

第2表 仮導管の径、膜厚及び孔紋の大いさ

樹 種	部 分	細 胞 径 (μ)				細胞膜の厚さ (μ)		孔紋室の径 (μ)	
		放 射 方 向		切 線 方 向		ア テ	正 常 材	ア テ	正 常 材
		ア テ	正 常 材	ア テ	正 常 材				
イチヨウ	春 材	30	34	28	30	4.0	3.0	8	10
	秋 材	15	13	24	30	3.0	3.5		
ヒメコマツ	春 材	30	35	30	26	4.8	2.0	10	16
	秋 材	18	18	28	30	4.8	5.5		
アカマツ	春 材	32	36	26	30	4.5	2.6	8	17
	秋 材	20	18	26	30	5.5	6.0		
エゾマツ	春 材	22	30	20	22	3.4	1.2	8	13
	秋 材	16	12	18	20	4.5	4.5		
トドマツ	春 材	30	32	26	24	4.0	2.2	12	15
	秋 材	15	12	22	20	4.0	5.5		
モ ミ	春 材	30	32	26	24	5.0	2.2	8	14
	秋 材	15	12	30	24	5.5	6.0		
グイマツ	春 材	30	36	26	24	4.0	1.8	12	16
	秋 材	17	15	22	24	5.5	6.0		
ヒノキ	春 材	22	32	22	26	5.0	2.5	5	13
	秋 材	10	10	20	22	3.0	3.0		
マ キ	春 材	20	30	18	20	3.0	1.8	8	12
	秋 材	15	12	18	20	3.4	3.6		
スギ	春 材	24	30	19	20	4.2	1.2	4	12
	秋 材	11	9	18	20	3.5	3.6		

急に軸が傾斜して著しい偏心成長を起した場合アテの反対側、即ち上側の材の仮導管は一時径が小となるが次第に元に戻る。第3表はその例を示す。因にアテの反対側の材を R. HARTIG は Rotholz に対して Weissholz と称し、又 Druckholz に対して Zugholz と記したものもあるが、潤葉樹の Zugholz とは意味の異なるものである。

2. 細胞膜の厚さ及び膜層の構造

アテの仮導管の細胞膜が厚い事は、この材の機械的強度と関連して注目されている主要な特徴

第 3 表 アテの形成に伴う仮導管径及び膜厚の変化

樹 種	部 分	組 胞 放 射 方 向 径 ( $\mu$ )			細 胞 膜 の 厚 さ ( $\mu$ )		
		春 材	移 行 部	秋 材	春 材	移 行 部	秋 材
ス ギ	傾斜前・正常材	30.0	15.6	9.0	1.5	3.0	3.9
	傾斜後・上側・1年目	15.6	—	6.0	1.2	—	2.7
	4年目	28.8	—	9.6	1.2	—	3.6
	下側(アテ)1年目	21.6	16.8	9.6	4.2	4.8	2.7
	4年目	24.0	19.2	10.8	4.2	4.8	3.0
アカマツ	傾斜前・正常材	36.0	30.0	21.0	2.7	4.2	6.0
	傾斜後・上側・1年目	30.0	—	15.6	1.5	—	3.3
	12年目	42.0	30.0	18.0	2.5	4.2	6.0
	下側(アテ)1年目	38.5	24.0	19.2	5.4	7.6	6.0
	12年目	32.4	24.0	19.7	5.0	6.0	5.4

の1であるが、正常材と比較して特に厚いのは春材の部分であり、秋材に於ては殆んど差がないか或はむしろ稍々薄い事がある。要するにアテは春材秋材を通じて細胞膜の厚さの変化がないと言つてよい。

アテの仮導管の細胞膜の膜層の発達状態には正常材に対し著しく異なるところがある。先ず正常の仮導管に就て見ると細胞間層 Intercellular substance に界されて薄い第一次膜 Primary wall と比較的厚い第二次肥厚膜 Secondary wall があり、後者は更に外層、中層、内層 Outer-, Central-, Inner-layer に区別され、その外層及び内層は薄く、中層は厚い。特に秋材では著しく中層の部分が厚く発達し、細胞膜の大部分を占める。この膜層の称呼は従来人により一致を缺いているが、茲には発達の順序に従つた KERR 及び BAILEY (1934) の区分による。

細胞間層は細胞分裂の際の細胞板に由来する隔膜、即ち細胞間物質であつて、初め主としてペクチン質のものよりなると言われるが、後強くリグニン反応を示す様になり、光学的には等方性である。第一次膜は細胞分裂後最初に現れる細胞膜であつて、細胞の成長に伴い伸長してきわめてうすくなり、初期にはペクチン及びセルロースよりなるが、後リグニン反応を示し、染色に際し細胞間層と同様な色となるので識別し難いが、弱い複屈折をなすから偏光顕微鏡によつて区別される。第二次肥厚膜は細胞の外形が完成せる後第一次膜の内側へ肥厚するもので、主としてセルロースよりなり、後期に多少木化する。此中の外、中、内の3層は複屈折の状態に於て相違があり、直交ニコル中横断面では外及び内層が強く輝き、縦断面では中層が強く輝く。之はセルロースのミセル排列の異なるによると考えられ、外層及び内層のミセルの長軸は細胞の長軸に対し大なる角度をなすによるとされている。尙中層は質的にも粗であると考えられる。

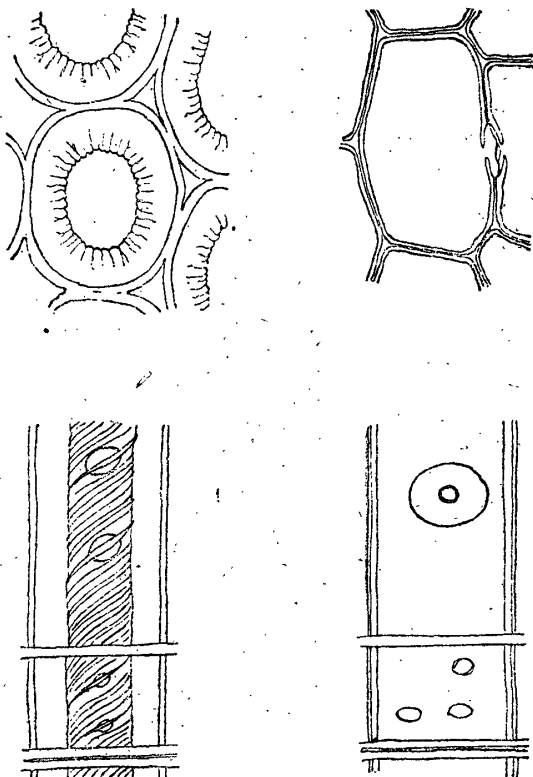
正常材に於ては各細胞が密に接触し、その間は細胞間層に埋められた形であるが、アテの仮導管細胞は横断面が円味を有するから、相互の接する角隅のところに細胞間隙が現れる。又アテの

仮導管細胞膜の第一次膜は少々厚く、第二次肥厚膜には正常の様な内、中、外の3層の区別がない。而して後者に放射状の多数の裂目があり、70%の濃硫酸で膨潤すると其構造が明かに見られる。更に之を少々加熱するとセルロースは分解してリグニン像が出来るが、夫によつても正常仮導管が同心状の構造を示すのに対し、アテでは放射状の構造であるのが認められる。尤もアテの分化の著しくないものでは放射状構造が顯著でなく、同心状の層が見られ、両者の中間型を示す。BAILEY 及び KERR (1935, 1937) によると正常の細胞膜の第二次肥厚膜に於ける三層の区別はセルロースの排列方向の相違によるもので、質的な断層はないが、アテの第一次膜と第二次肥厚膜の間にはセルロース質でない等方性の層で分たれているとし、又第二次肥厚層の放射状の裂目は細胞内腔に向つて細胞膜を多数の褶に分離していると言う。

DADSWELL (1940) はアテにかゝる放射状構造の現れるのは、屈地性刺戟によつて急激な Aposition が起り、成長層を示す同心構造を生じ得なかつたによると想像している。

アテの仮導管の横断面に於て放射状に見える裂線は縦断面にて細胞の長軸に対し、約45°の傾斜を保つた螺旋状の條線として現れる。針葉樹の材にかゝる螺旋状線のある事は既に古く、KRAUS (1882) によつて記載されているところであるが、之がアテの仮導管に特徴的なものである事を指摘したのは R. HARTIG (1901) である。この條線の回旋方向は JACCARD (1928) によると木理に従い、右旋木理のものでは細胞分裂の際の隔膜も右に傾き、條線も亦右旋となり左旋木理のものは隔膜も左に傾き、條線も亦左旋となり、木理通直のものは隔膜の傾斜も條線の回旋も左右相半すると言う。然るに筆者の観察せ

第10図 スギ春材部のアテ(左)と正常仮導管(右)の比較: 上:横断面. 下:放射縦断面. ×800



るところによるとイチヨウ、イチキ、カヤ、ナギ、イヌマキ、チヨウセンマキ、イヌガヤ、モミ、サイシユウモミ、トガサワラ、ツガ、トウヒ、ドイツトウヒ、カラマツ、アカマツ、クロマツ、コウヤマキ、スギ、ランダイスギ、ラクウショウ、アスナロ、ネズコ、ヒノキ、コノテガシワ、ネズミサン、Sequoia sempervirens、Cupressus arizonica 等に於て何れも左旋であつた。第10図参照。

細胞膜に於ける螺旋状の裂目はしかし正常の材にあつても急激に乾燥した場合等に現れる事がある。乾燥による収縮がミセル長軸に直角の方向に著しく、その排列の方向に沿うて割目が出るのであろう。之に対しアテに存在する螺旋状の裂線は細胞膜の成長が完成すると共に認められるものであるから、乾燥によるものと言う事は出来ない。

Taxus, Torreya, Cephalotaxus 等の假導管には第二次肥厚膜の内層に数條の螺旋狀肥厚が現れ、その回旋方向は中層のミセルと逆になつてゐるが、アテに於ては中層と同様左旋となり、螺旋の傾斜も中層のミセルと同様略々45°となる。尙その螺旋の数は少く、中層の螺旋狀裂線は他の樹種に比べて不明瞭の傾向がある。第11図参照。

### 3. 細胞膜のミセル排列

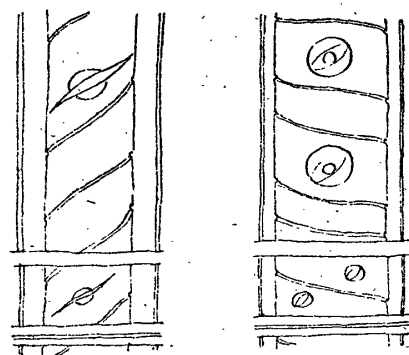
細胞膜に於てセルロースの糸狀分子が集合して微晶、所謂ミセルをなし、夫が層により一定の方向に排列せる事は今日は既定の事実とされ、その排列状態が木材の種々の性質に密接な関係をもつとの予想の下に之に関する研究も少くない。CLARK (1930) は X 線により Southern yellow pine のアテを研究し、普通の材と比べて粒子が整一に細胞の軸より約60°傾斜せる事を示すと見られる明瞭な干渉点の現れる事を記載している。しかし X 線による研究には組織の小片が用いられ、細胞毎に、又細胞の層毎に相違するミセルの排列を明かにする事は困難であろう。偏光顕微鏡を用い直交ニコル下に消光する位置を測り、ミセル軸の方向を求める方法は之に対し單一の細胞に就て観測されるから都合がよい。尤も單一の細胞でも前後両側の膜が重なるときは正しく消光位が定められぬから、一箇の細胞を縦断し、一側の細胞膜に就て測定する必要があり、之が爲に極めて薄い縦断截片をつくり、之を解離して鏡下に適當の材料を求める等の手数を要する。筆者が此方法によつてアテの假導管を研究したところによると、第二次肥厚膜に存する螺旋狀裂線の方向とミセルの長軸の方向は全く一致せる事が認められた。従てアテに於ては上記の如き煩鎖な方法を用いなくとも裂線の方向を測定すればよい事になる。

正常の材に時として認められる細胞膜の裂目も亦ミセルの長軸の方向と一致する。只この様な裂目は常にあるわけではないから正常材の研究に之のみを頼る事は出来ない。筆者 (1936) は古墳等より出土する古い材の秋材部の第二次肥厚膜中層にて腐朽による穿孔が略々ミセルの長軸の方向に進行するのを認めたが、BAILEY (1937) は細胞膜を Chlorination によつて腐蝕し沃度沃度加里と硫酸を滴下すると沃度の結晶が腐蝕間隙に生じ、之がセルロースの排列方向にならぶ事を報告している。又孔紋のレンズ狀開口の傾斜は膜のミセル傾斜に従うものであると言われ、小原氏 (1939 A) は射出線との間の假導管の孔紋に就て之を測定している。ミセルの排列は膜層毎に変化する事があるが、孔紋のレンズ狀開口は第二次肥厚膜の中層に當る部分にて発達するものであり、中層は膜の大部を占める程厚いから、表面的の複屈折の如きは主として此層のミセル排列に支配され他の層にミセル傾斜の異なるものがあつても、直交ニコル中の消光位と孔紋開口の傾斜方向が一致する事となるのである。

ともあれ上述の如き方法によつて正常假導管の細胞膜に於けるミセルは一般に螺旋狀排列をなし、細胞長軸に対する角度は切線膜にて放射膜より約15°小である事、内部の年輪より10年位迄は急に角度小となり、其後はあまり変化しない事、幹の基部より梢端に向い傾斜が小となる傾

第11図

イチキ春材に於けるアテ(左)と正常假導管(右)の比較. 放射縦断面 ×900



向がある事等が報告されている。又成長との関係に就て JACCARD (1928) は *Picea excelsa* の成長の速いもので平均  $57.7^\circ$  に対し、遅いものは  $69.4^\circ$  とし、MISRA (1939) は反対に成長の遅いものの方が傾斜が急であると述べている。

放射膜に於ける孔紋の内開口は一般に春材より秋材に向い、細胞の径を減すると共に傾斜角が小となるものであるが、細胞の形の増大は第一次膜の形成当時に行われ、孔紋の内開口の生ずる第二次肥厚膜形成時代には細胞の形は既に完成せるものであるから、細胞の径の大となるに伴つて孔紋の内開口傾斜が水平に近くなる様な事は考えられない。分裂当初の若い細胞には原形質が充満し、夫が流動する事はないが、細胞の形が拡大すると共にその方向に向つて原形質流動が現れ、之に従てセルロースの糸状分子も流動の方向に形成し、ミセルの発達も亦其方向に従うと云う説がある。<sup>20)</sup> 実際原形質流動が螺旋状に循環し、その回旋数は変らないものであると仮定すると、細胞の長さが大となれば螺旋流の細胞長軸となす角度は小となり、径が大となれば、その角度は大となる。之は実際のミセル傾斜の状態を説明するに甚だ都合のよい説であるが、只層によつてミセルの傾斜角のみならず、回旋方向迄変化する事実に対し、原形質流動に急変が起る事が実証されなければならない。

しかしアテに於ては *Taxus* 等螺旋線状肥厚内層を有するものでも、第二次肥厚膜全体を通じてミセルの回旋方向に変化がなく、その傾斜角も同じである。ミセルの傾斜角は勿論春材と秋材、切線膜と放射膜によつて相違があり、従來の測定結果は必ずしも一致していないが、筆者の見るところによると、アテに於ては大體  $45^\circ$  に近く、正常材の切線膜及び春材放射膜では  $20\sim 35^\circ$ 、秋材放射膜では更に小なる傾向がある。第4表は之に関する従來の報告を集めたものである。

(次頁参照)

#### 4. 孔紋の形、大きさ及び分布

正常材の重孔紋の形は春材と秋材、切線膜と放射膜によつて異なり、膜の厚い秋材細胞にては孔紋室の径が小さく、内開口はレンズ状をなして輸出する傾向があるが、膜のうすい春材にあるものは多くの樹種にて孔紋室の径大、開口は円形で円節よりも径小である。然るにアテの仮導管にあるものは春秋材を通じてレンズ状の内開口を有し、それは第二次肥厚膜の螺旋状の裂線に沿うて延び輸出する。孔紋室の径は正常材に比し秋材では稍々大、春材では稍々小であり、分布数は少い。19頁第2表参照

射出線細胞との間にある孔紋の形は樹種により特徴的なものであるが、アテに於ては一樣にレンズ状輸出する内開口を示し、樹種識別の徴標とならない。第10図及び第11図参照

#### 5. 仮導管細胞の長さ及び縦断面の形

アテの仮導管が正常材又は反対側の材に比較して短い事は既に R. HARTIG によつて指摘されている。従來正常の成長をなせるものがアテを生ずる様になつた場合には、急にその部分から仮導管の長さは短くなる。しかし仮導管が短くなる現象はアテの形成の際のみならず一般に成長がはやくなり、年輪幅の大となつた部分にも見られるから、之を必ずしもアテに特有の現象とする

第4表 仮導管細胞膜のミセル傾斜 (細胞長軸となす角度)

樹 種	部 分	ア テ	正 常	差	報 告 者
Pinus nigra		46.9°	40.1°	6.8	Jccard u. Frey
Pseudotsuga Douglasii		47.9	42.0	5.9	
	春材	34.4	20.4	14.0	Pillow & Luxford
	秋材	22.6	6.1	16.5	
Abies concolor	春材	36.2	23.9	12.3	
	秋材	20.9	8.3	12.6	
Pinus taeda	春材	35.1	22.8	12.3	
	秋材	29.3	4.8	24.5	
Pinus ponderosa	春材	30.1	19.6	10.5	
	秋材	24.7	3.9	20.8	
Sequoia sempervirens	春材	38.3	23.9	14.4	
	秋材	29.4	8.3	21.1	
Picea excelsa		32—38	—	—	Münch
Taxus cuspidata	秋材. 切線膜	44.5	24.8	19.7	尾 中
Torreya nucifera	春材. //	45.2	25.5	19.7	
	秋材. //	40.5	22.3	18.2	
Pinus Thunbergii	春材. //	32—45.6	—	—	
	秋材. //	26—42.3	—	—	
	春材. 放射膜	33—46.8	28.9	4.1—17.9	
	秋材. //	22—35.8	8.7	13.3—27.1	
Cryptomeria japonic	春材. //	44.8	36.8	7.9	
Chamaecyparis obtusa	秋材. 切線膜	44.5	20.5	24.0	

事は出来ない。R. HARTIG は此現象の理由を説明して急激な肥大成長に際し 形成層の細胞分裂がはやくなると、母細胞の十分な伸長を見ないうちに再分裂が起り、その結果娘細胞も長さが短くなると述べているが、仮導管たるべき娘細胞は分裂後上下に迂り成長 Gleitendes Wachstum によつて長さを増すものであるから、必ずしも母細胞の長さに関係しない筈である。又濶葉樹のアテは後に述べる様に肥大成長が大であるにも拘らずその木繊維長は長いのを常とする。故に彼の理論は此場合にあてはまらない。第5表は針葉樹仮導管長の二三の実測結果である。(次頁参照)

仮導管の縦断面の形は、特に放射断面に於て上下両端が迂り成長の際、他の細胞の間隙に伸長する結果、射出線に衝突するところ等にて不規則な屈曲をなすものがあるが、アテに於てそれは甚しく、先端がL字形、T字形、Y字形等に屈曲分岐するもの多く、全体としても波状材の如く鋸曲する傾向がある。MÜNCH (1939) は之を以てアテの組織が伸長する応力を有する証とし



第5表  
仮導管の長さ

樹種	部 分	アテ(μ)	正常材(μ)	比
スギ	傾斜後 8年	1.304	1.726	0.76
アカマツ	2年春材	2.43	3.144	0.78
	秋材	2.93	3.30	0.89
シラベ		2.848	3.029	0.94
トウヒ		1.865	2.333	0.93

かし細胞の形、大きさ等には何等変るところがない。第6表参照。

第6表 木柔組織分布数

樹 種	横断面mm <sup>2</sup> 当分布数			1年輪切線方向1cmに対する数			年輪幅 mm	
	アテ	正常材	比	アテ	正常材	比	アテ側	反対側
マキ	217	303	0.72	248	214	1.16	1.2	0.7
ヒノキ	10	18	0.56	78	32	2.44	7.8	1.8
スギ	25	39	0.64	112	23	4.87	4.6	0.6

樹脂道中垂直樹脂道に於ても亦同様の関係があり、成長が劣り年輪幅の狭い部分は樹脂道の密度の大なる傾向がある。MÜNCH (1927) は年輪密度と樹脂道分布数の間に或関係式が成立するとさえ称している。垂直樹脂道は縦に或程度の長さを有するものであるから、局所的にアテの形成に伴い年輪幅が廣くなれば、関係的に密度が小となるのは当然であるが、とも角アテの側は反対側に比べて単位面積当樹脂道数に乏しい。しかし1年輪の単位の長さに対する数はアテの方に多い。同様の事は木柔組織に就てもいわれる。第7表はその二三の実測例である。

第7表 垂直樹脂道数

樹 種	横断面mm <sup>2</sup> 当分布数			1年輪切線方向1cmに対する数			年輪幅 mm	
	アテ	正常材	比	アテ	正常材	比	アテ側	反対側
アカマツ	0.56	2.14	0.26	9.5	6.4	1.48	1.7	0.3
ヒメコマツ	0.56	1.00	0.56	16.2	3.0	5.4	2.9	0.3
エゾマツ	0.89	0.63	1.32	19.6	5.1	3.84	2.2	0.8

水平樹脂道は射出線中にあり、之も亦内外の年輪に或程度迄連なる細胞間隙である。従て肥大成長が著しくして周囲が増加すれば、切線断面に於ける密度が減少する筈であるが、周囲の増加に応じて新しく水平樹脂道が現れると見られ、アテと反対側の断面とを比較すると第8表の如く殆んど差がない。

C. 射出線

切線面上に於ける射出線の分布密度に就ては前記水平樹脂道と同様の関係がある。しかし一般に射出線の分布と細胞高は逆の傾向を示すもので、年輪幅の大なる部分にて密度は小となり、細胞高は大となると言われている。筆者の測定した材料の中にも急にアテを形成し、年輪幅の大となつたスギにて、従來の分布密度 mm<sup>2</sup> 当り 53, 細胞高平均 3.54 のものが、アテの部分にて密度 33.7, 細胞高 4 となつた例がある。而して両者の相乗積は従來の 21 に対しアテにて 13 となるから結局アテの部分は射出線細胞に乏しいと言う事になる。第 9 表参照。

第 8 表 水平樹脂道数

樹 種	切線面 mm <sup>2</sup> 当分布数		
	ア テ	正常材	比
アカマツ	0.91	0.91	1.00
〃	0.70	0.62	1.13
〃	0.76	0.94	0.81
ヒメコマツ	0.53	0.69	0.77
エゾマツ	1.24	1.68	0.74
グイマツ	0.90	0.69	1.30
〃	0.41	0.31	1.32

第 9 表 射 出 線

樹 種	切線面 mm <sup>2</sup> 当分布数			平均 細胞 高			切線面 mm <sup>2</sup> 当細胞数		
	ア テ	正常材	比	ア テ	正常材	比	ア テ	正常材	比
イ チ ヨ ウ	54.4	59.5	0.91	2.23	2.20	1.02	121	131	0.92
マ キ	33.3	33.3	1.00	2.84	2.71	1.05	95	90	1.06
ア カ マ ツ	31.2	33.3	0.94	4.85	5.17	0.85	151	172	0.89
〃	35.8	46.5	0.77	5.50	4.41	1.25	197	205	0.96
グ イ マ ツ	41.1	42.2	0.95	5.04	6.25	0.81	206	264	0.78
〃	41.6	84.6	0.49	4.94	3.74	1.32	206	317	0.65
エ ゾ マ ツ	49.6	61.4	0.73	5.52	5.14	1.07	274	316	0.87
モ ミ	37.9	41.6	0.91	8.64	5.76	1.50	326	240	1.36
ト ド マ ツ	41.3	64.6	0.64	3.86	3.94	.97	159	254	0.63
ヒ ノ キ	53.5	72.6	0.74	5.80	4.54	1.28	311	329	0.95

尙射出線に仮導管要素を含むものがあるが、その仮導管にはアテの部分に於ても膜層に異常を生ずる様な事はない。

D. アテの形成側に於ける皮部の異常

アテを生ぜる場合、皮部にも反対側と比較して種々の相違が認められる。若い Pinus の芽條を水平に保つと下側の皮層が著しく厚くなり、各細胞は径を増し、樹脂道も著しく大となる。<sup>56) P58</sup>

韌皮に於ては材の如く成長層が明かでないから成長量を比較し難いが、スギ、ヒノキ等の如く韌皮繊維に厚膜のものと薄膜のものが周期的に現れるものに就て、その間隔を比較すると材に於ける程著しくはないが、矢張りアテの側に成長が大である。併し韌皮繊維の如き機械的強度に関係する要素の発達は概してアテの側に劣り、上記の厚膜の韌皮繊維も切線方向に連続せずして薄

膜のものと断続する。又此繊維の長さはアテの側に於て短い事仮導管に於けると同様である。第10表は之等を測定した例を示す。

第10表 韌皮繊維列数 (550 $\mu$ に対する列数)

樹種 種類	ヒノキ		//		スギ		//	
	アテ側	反対側	アテ側	反対側	アテ側	反対側	アテ側	反対側
厚膜細胞の連るもの	2	6	1	4	1	6	1	5
// 断続するもの	2	1	3	1	1	1	4	2
薄膜細胞の連るもの	13	8	13	9	14	9	10	6
計	17	15	17	14	16	16	15	13

第一次の木栓形成層はアテの側に早く現れ、その側の皮層の樹脂道は早く脱落する。而して木栓組織の発達も此側に著しいが、アテの成長が大なるため周囲の増加に伴い樹皮の亀裂剝離する傾向が多く；結局残存する樹皮の厚さはアテの側に薄いと言う事になる。アカマツ等の傾斜せる幹に於て、下側は所謂 Schuppenborke の形となり、上側は Tafelborke の形をなせる例は屢々見られるところである。

## V 潤葉樹の偏心成長に伴う組織の解剖的構造

### A. 従來の研究

潤葉樹の偏心成長に伴う組織の構造に就ては従來まとまつた研究を見ない。KNY (1882) は年輪の廣い側の導管は直径が大であり、分布数も多いと述べ、LÄMMERMAYR (1901) は其側に射出線が多く、從て貯藏物質に富むと称し、METZGER (1908) は上側の材は木繊維の細胞膜が厚く、且木化の程度少くしてセルロースの反応を示し、又導管に乏しい事を認め、HERIK (1915) は *Fagus*, *Salix*, *Ficus*, *Alnus*, *Olea*, *Tamarix*, *Fraxinus* に於て年輪の廣い側へ木繊維が偏り、狭い側へ導管が偏つて発達するとし、JACCARD (1917) は縦張力の作用する側の材に膠質層と呼ばれる特に木化の少い膜層を有する木繊維が現れる事を認め、之を Zugfaser と称した。而して之は *Quercus*, *Populus*, *Robinia*, *Ailanthus*, *Fagus*, *Alnus*, *Aesculus*, *Fraxinus*, *Betula* に著しく見られ、*Tilia*, *Liliodendron* 及び灌木性の *Lonicera*, *Ribes*, *Ligustrum*, *Viburnum*, *Corylus* 或は一年生草本に生じないと述べている。BÖNIG (1925) は更に之を多数の喬木及び灌木に就て調査し *Querciflorae*, *Salicaceae*, *Urticiflorae*, *Rosiflorae*, *Leguminosae*, *Polycarpicae*, *Aesculinae* に属するものは喬木、灌木を問わず膠質層を形成するが、*Fraxinus*, *Halesia*, *Platanus* には現れず、*Tilia*, *Liliodendron* は成長の偏る側の木繊維細胞膜が却つて薄いとし、*Pomaceae* (*Pirus*, *Crataegus*, *Cotoneaster*), *Potentilla*, *Hydrangea*, *Ribes*, *Evonymus*, *Hippophaë*, *Cornus*, *Rhododendron*, *Citrus*, *Ruta*, *Forsythia*, *Syringa*, *Jasminum*, *Symphoricarpus*, *Sambucus*, *Helianthemum*, *Iberis*, *Cheiranthus*, *Vaccinium* 等にて何等組織的異常を見ないとしている。

要するに濶葉樹に於て軸が傾斜した場合に現す反応は、針葉樹に於ける如く一律でなく、そのために従來の報告が一致を缺くに至つたものと思われる。筆者は此点に就て主として本邦産双子葉木 84 科、219 属に亙り調査したが、其結果次に述べる様な事が認められた。

#### B. 濶葉樹に於ける偏心成長

濶葉樹の幹が傾斜した場合、その肥大成長に現れる傾向に凡そ次の三つの型がある。

第一、上側へ成長の偏るもの

第二、下側へ成長の偏るもの

第三、成長の偏りの現れぬもの

第一の場合は暫くおき、第二の下側へ成長の偏るものは筆者の調査した範囲では極めて少く、*Gardenia* (クチナシ)、*Buxus* (ツゲ、ヒメツゲ) の 2 属があるのみである。その成長の偏る側の材は針葉樹のアテの如く赤褐色を呈するが、針葉樹に見られる様な細胞膜の異常は認められぬ。KNY (1882) は双子葉木木の側枝は常に上側に成長が偏り、只 *Buxus*, *Rhododendron*, *Actinodaphne*, *Viscum* が例外的に下側に偏るとしているが、筆者のみるところ *Rhododendron* (シヤクナゲ、コバノミツバツツジ) は明かに上側に成長が偏り、*Viscum* には偏心成長の傾向がない。

第 3 の全く偏心成長を示さないものは *Chloranthaceae* (センリヨウ)、*Lardizabalaceae* (アケビ、ムベ)、*Berberidaceae* (メギ、ヒラギナンテン、ナンテン)、*Menispermaceae* (オウツツラフジ)、*Saxiflagaceae* (バイクワウツギ、ウツギ、ノリウツギ、ズイナ、モミジスグリ)、*Spiraeaceae* (ホザキシモツケ)、*Rosaceae* (ヤマブキ、キイチゴ、クマイチゴ、ノイバラ)、*Coriariaceae* (ドクウツギ)、*Vitaceae* (ツタ、ノブドウ)、*Actinidiaceae* (マタタビ、サルナシ)、*Loganiaceae* (フジウツギ)、*Apocynaceae* (テイカカヅラ、キョウチクトウ)、*Capriofoliaceae* (ニワトコ、アラゲガマヅミ、オウカメノキ、キバナツクバネウツギ、タニウツギ、ベニバナヒヨウタンボク)、*Ehretiaceae* (チンヤノキ)、*Rhinanthaceae* (キリ)、*Bignoniaceae* (キササゲ)、*Asteraceae* (コウヤボウキ) 等大部分灌木、若しくは蔓茎木木に属するが、中にはキリ、キササゲの如き喬木もある。

第一の上側に成長の偏るものには多くの喬木性木本が入る。此場合更に材及び靱皮共に著しい成長の偏りを示すものと、主として材に成長の偏りの現れるものの別がある。前者の例に就ては既に WIESNER (1894) が *Tilia* 及び *Anona* に就て記載を残しているが、更に *Malvaceae* (ムクゲ)、*Sterculiaceae* (アオギリ)、*Daphnaceae* (ジンチヨウゲ、キガンピ、ミツマタ) 等が之に属し、*Magnoliaceae* (オウヤマレンゲ、オガタマノキ、ユリノキ) 等にも同様の傾向がある。此型式をとるものの成長の偏る側の材は正常の部分に比べて木繊維細胞膜薄く、木化の程度には差がない。細胞の径は稍々大で、細胞排列は不齊である。又導管の径も稍々大であり、分布数は少い傾向がある。靱皮に於ては靱皮繊維の帯が廣く、成長に伴つて周囲の増加するに従い射出組織の細胞が切線方向に成長して之を補う。尙靱皮繊維の長さも木繊維の長さも常に上側に大である。

後者、即ち主として材部に成長の偏りの現れるものと雖も多少は皮部も上側の成長優り、特に厚膜組織がこの側に発達する傾向がある。此型の材に於て更に膠質層を生ずるものと、生ぜざるものの別がある。木繊維又は繊維状仮導管に膠質層を生ずる事のないものでは細胞の径、膜の厚さ等殆んど正常材と異なるところがなく、只細胞の長さが多少長い傾向が認められる。この類に属するものには Cydoniaceae (ヤマナシ, ミツバカイドウ, ビワ, カマツカ, カナメモチ, オウウラジロノキ, シヤリンバイ, サンザシ, クワリン), Sabiaceae (アワブキ, ミヤマハハツ), Aquifoliaceae (ソヨゴ, イヌツゲ, アオハダ, フウリンウメモドキ), Celastraceae (ツリバナ, マユミ), Clethraceae (リヨウブ), Rhodoraceae (ホツツジ, コバノミツバツツジ, シヤクナガ, コベニドウダン, アセビ, ネヂキ), Verbenaceae (ニンジンボク, クサギ) 等がある。

膠質層を生ずるものは更にその発達状態によつて区別が行われるが、之を説明する前に一応膠質層に就て述べる事とする。

### C. 膠質層

木繊維の細胞膜に於て全くリグニンの反応を示さず、塩化亜鉛沃度にて紫色を呈し、乾燥すると強く収縮して他の層より剝離し易い層がある事は夙に TH. HARTIG によつて発見されたものであると言う。SANIO は之を Knorpelig-gelatinöse Verstärkung と称し、Leguminosae (Cytisus, Sarothamnus, Sophra, Caragana, Gleditchia) には常に, Ulmus, Celtis, Hackea, Morus, Broussonetia, Ailanthus, Fuchsia, Eugenia, Castanea, Diospyros, Corylus, Ostria, Populus, Betula, Alnus, Enckea, Eucalyptus, Calycanthus, Amygdalus, Prunus, Jatropha, Ficus の木繊維に現れ、又 Hamamelis, Fagus, Casuarina の仮導管にも存在すると記載し、SOLEREDER (1903) には Calycanthaceae, Violalidae, Bixineae, Lineae, Simarubaceae, Hypocastanaceae, Papilionaceae, Caesalpinieae, Mimoseae, Rosaceae (Amygdaleae), Myrtaceae, Onagrariae, Ebenaceae, Laurineae, Piperaceae, Proteaceae, Euphorbiaceae, Ulmaceae, Moraceae, Casuarineae, Cupliferae, Salieineae の木繊維の一部に現れるとの記載がある。

膜層がセルロース反応を示す事に就て R. HARTIG, MAYR, MARSHALL WARD, BIFFON 及び SCHRENK は菌類の侵害により delignification が起れる結果であるとしているが、SCHACHT は全く菌類に侵されないものにもかゝる反応が見られるとし、POTTER (1904) は Quercus, Fagus, Aesculus, Salix 等にて年輪により不規則ではあるが一側的にセルロース反応を示す層が現れるとし、又 LECLERC DE SABLON (1904) は Salix にて此層は冬に増加し、春に減少するから一種の貯蔵物質であるとしている。併し SCHENBERG (1905) は Vitis, Robinia の一年軸にかゝるものが認められるが、Aesculus, Betula, Fagus, Quercus 等にあるものは成長に際し消費される形跡がないと述べている。

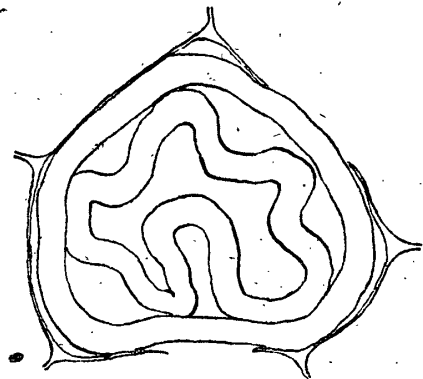
METZGER (1908) に至つて初めて此層が傾斜せる幹の上側に生ずる事が明かにされ、彼は之を機械的に張力に対して抵抗し、樹体を支持する意義を有するものと考え、之を有する繊維を

Zugfaser と呼んだ。尙此層は DIPPEL によつて Gallertig 又は Gallertschicht と記され、英語では Cellulosic-, Mucilaginous-, Cartilaginous-, Gellatinous-layer 等種々の名があり、日本語には膠質層と記されている。

此層の主な成分は LECLERC DU SABLON, SCHELLENBERG, METZGER 等によつてヘミセルロースと記されているが、稀薄な塩酸等にて分解されないから JACCARD (1917) はセルロースを主とし、多少ペクチン及びヘミセルロースを含むものと見做し、BAILEY (1937B) は $\alpha$ セルロースと多少のペクチン及びゴム質物から成ると称している。塩基性色素にはよく染り、CLARKE は gossypine と lightgreen の三重染色にて膠質層は pale green に、木化せる層は deep red に染め分けられると述べている。偏光顕微鏡下に此層は弱い複屈折を示すが、横断面では殆んど等方性である。之はミセルが細胞の長軸に平行せるからであると考えられる。BAILEY (1937) は此層が乾燥収縮に際し、横断面では放射状に、縦断面では細胞の長軸より僅に傾斜せる裂目を生ずるから放射状構造を有するものと考え、DADSWELL (1940) も *Casearia battiscombei* の膠質層に沃度沃度加里3%液を前処理し濃硫酸を加えた際、明かに放射構造を示す像を得ると記載している。又 BAILEY は此層を特に発達せるものに於て他の層との間に等方性の層があり、質的に不連続であると称している。ともあれこの層は乾燥に際しても、膨潤に際しても剝離し易く、濃硫酸を処理すると分解する前に他の層より分れて特に著しく切線方向に伸長し、細胞内腔にて皺曲するのが認められる。第12図参照。

第12図

バツコヤナギのアテの木繊維横断面。  
濃硫酸処理により膠質層が著しく切線  
方向に伸長するを示す。 ×2000



膠質層に於けるミセルの排列状態に就ては JACCARD 及び FREY (1928B) が *Populus* に於て繊維の軸に平行(反対側の材は平均 26.1°, 正常材は 21.8°) としているが、筆者が孔紋開口の傾斜角を測定したところでも、第11表に示す如く殆んど平行に近い。

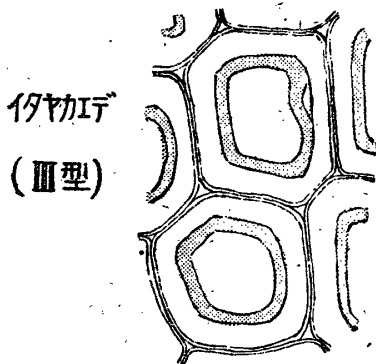
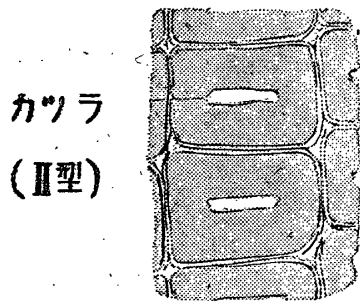
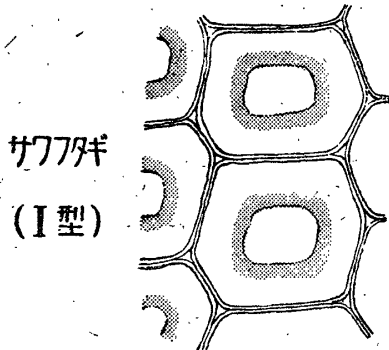
第11表 木繊維細胞膜の孔紋傾斜(細胞長軸となす角度)

樹種	膠質層を有するもの	正 常
ウラジロガシ	0—5°	20—30°
カ ッ ラ	5	25
コシアブラ	15	25
ヤマグルマ	0—5	55

此層は第二次肥厚膜中内側へ特に独立した層として現れるものがあるので、従來の文献に第三次膜として記載されたものが多い。しかしこの層の分化状態には種々の型が見られ、之を凡そ次の3つの基本的な型に分ける事が出来る。次頁第13図参照。

第I型 第二次肥厚膜の厚さは殆んど変わらず、たゞ内側に向い次第に木化度を減じ、膠質層に移行するもの。

第13図 膠質層の例。  
淡黒の部分が膠質層。×ca1000



之は Cydoniaceae, Halesiaceae, Oleaceae 等に見られる。

第II型 第二次肥厚膜全層が膠質層となつたもの。此場合膜の厚さは著しく厚くなり、殆んど細胞内腔を埋むる程のものが多し。之は Myricaceae, Eupteleaceae, Cercidiphyllaceae, Trochodendraceae, Hamamelidaceae, Ternstroemiaceae, Cornaceae, Ebenaceae 等に認められる。

第III型 第二次肥厚膜の内側に独立して分化せる膠質層を生ぜるもの、細胞膜は此層の発達に伴つて厚くなる。此型の例は Salicaceae, Juglandaceae, Ulmaceae, Moraceae, Urticaceae, Calycanthaceae, Lauraceae, Fabaceae, Rutaceae, Euphorbiaceae, Anacardiaceae, Aceraceae, Hippocastanaceae, Sapindaceae, Rhamnaceae, Flacourtiaceae, Lythraceae, Punicaceae, Melastomataceae, Araliaceae 等の多くの樹種に見られる。

而して之等は樹種によつて略々固有のものであるが、中には発達程度によつて第III型より第II型へ、第II型より第I型に移行せる形のものが認められる。第12表は之等の調査結果をまとめたものである。

第12表

双子葉木本に於ける偏心成長と膠質層の出現型

表中 偏心の傾向。上は上側肥大性。(上)は其傾向著しからざるもの、下は下側肥大性。—は偏心性なきを示す  
繊維排列中。正は井然たるもの、不齊は交互状に横断面に見ゆるものを示す。

科	属	種名	偏心の傾向	繊維膜の厚さ(μ)		膠質層の型	アテの繊維排列	摘要
				正常材	アテ(膠質層)			
Casuarinaceae	Casuarina	モクマオウ	上	2	3(2-3)	III→II	正	アテは濃色に見え、導管に乏し
Chloranthaceae	Chloranthus	センリヨウ	—	—	—	—	—	組織に異常なし
Salicaceae	Populus	ヤマナラシ	上	2	4(3)	III	正	アテは濃色に見え、

科	属	種名	偏心の 傾向	繊維膜の厚さ(μ)		膠質層 の型	アテの 繊維排列	摘要
				正常材	アテ (膠質層)			
		ドロヤナギ	上	2	3(2)	Ⅲ	正	木繊維細胞は放射方向に扁平となる傾向あり、導管は径小、分布数少し、靱皮に厚膜組織の発達多し
		チヨウセンヤマナラシ	上	2	3(2.5)	Ⅲ	正	
	Salix	アカメヤナギ	上	2	3(2)	Ⅲ		
		コウライシダレヤナギ	上	2	4(3)	Ⅲ	正	
		キツネヤナギ	上	2	3(2)	Ⅲ	正	
		バツコヤナギ	上	2.5	4(3)	Ⅲ		
	Myricaceae							同上
	Mirica	ヤマモ	上	3	6(5.5)	Ⅱ	正	
	Juglandaceae							繊維に重孔紋散在するが、アテに於て其開口線状となる。導管は径小、且數に乏しい。 上側の靱皮は厚く且厚膜細胞に富む
	Platyalaria	ノブノギ	上	2	4.5(3)	Ⅲ		
	Engelhardtia	ラツバシデ	上			Ⅲ		
	Pterocarya	サワグルミ	上	2	4(2)	Ⅲ	正	
		カンボウフウ	上	1.5	4(3)	Ⅲ		
	Juglans	オニグルミ	上	2	3(2)	Ⅲ		
		テウチグルミ	上	1.7	3(1.5)			
	Betulaceae							同上、膠質層はⅢ—Ⅱの両型に現る。
	Carpinus	イヌシデ	上	2	5(4)	Ⅲ		
		クマシデ	上	2	4(2)	Ⅲ		
		アカシデ	上	2	4(3.5)	Ⅲ	正	
	Ostrya	アサダ	上	2.5	5(2)	Ⅱ—Ⅲ	正	
	Corylus	ツノハシバミ	上	1.5	4.5(3.4)	Ⅱ—Ⅲ	正	
	Betula	ミズメ	上	2	4(3.5)	Ⅱ	正	
		オノオレ	上	2	3(2.5)	Ⅱ		
		シラカンバ	上	2	3(2.5)	Ⅱ		
		ダケカンバ	上	2.5	4(3.5)	Ⅱ		
		ソウシカンバ	上	2.5	4.5(4.0)	Ⅱ		
	Alnus	ヒメヤシヤブシ	上	2	3(2.5)	Ⅱ—Ⅲ	正	
		ミヤマハンノキ	上	2	3(2.5)	Ⅱ—Ⅲ	正	



シベリアハンノキ	上	2	3(2.5)	II	正	同上，切線状に排列せる木柔組織は其間隔アテにて廣くなる。
ヤマハンノキ	上	3	4.5(3)	III	正	
ハンノキ	上	2	5(3)	III	正	
<b>Fagaceae</b>						
<b>Fagus</b>						
イヌブナ	上	4	5.5(4.5)	III	正	
ブナノキ	上	3	4.5(4)	III		
<b>Castanea</b>						
ク　　リ	上	3	6(5.5)	III-I	正	
タンバグシ	上	3	6(5)	III-I		
<b>Quercus</b>						
ウラジロガシ	上	2.5	4(3)	III	正	
アカガシ	上	3	3.5(2)	III		
アラカシ	上	3	4(2)	III-I		
ミズナラ	上	3.5	5(4)	I-III	正	
コ　ナラ	上	4	6(5)	III		
モンゴリナラ	上	2	7(6)	III		
<b>Shiia</b>						
シイノキ	上	1.7	4.5(4)	III-I	正	
<b>Lithocarpus</b>						
シリブカガシ	上	2.8	4(3.5)	I		
マデバシイ	上	2	4.7(4)	I-III		
<b>Castanopsis</b>						
クサノクリカシ	上			III		
<b>Ulmaceae</b>						
<b>Ulmus</b>						
アキニレ	上	2.5	4(3)	III	不 齊	アテは濃色に見え，木繊維は径々小にて排列不整なる傾向あり，膠質層は厚く発達するが剥離し難い。韌皮組織の発達には殆んど差がない。
ノ　ニレ	上	2	3(2)	III	不 齊	
ハルニレ	上	2.5	3.5(2)	III		
<b>Celtis</b>						
エ　ノ　キ	上	1.5	4(3)	III	不 齊	
<b>Aphananthe</b>						
ムクノキ	上	2	4(3)	III	不 齊	
<b>Zelkova</b>						
ケ　ヤ　キ	上	2.5	4.5(3)	III	不 齊	
<b>Trema</b>						
サンコンマ	(上)	3.5	4(3)	III		
<b>Moraceae</b>						
<b>Morus</b>						
ヤマグワ	上	1.5	3(2)	III		同　上
ク　　ワ	上	2.0	3(2)	III		

科	属	種 名	偏心の 傾 向	纖維膜の厚さ (μ)		膠質層 の 型	アテの 纖維排列	摘 要
				正常材	アテ (膠質層)			
	Broussonetia							
		コウゾ	上	1.5	3(2)	Ⅲ		
		カジノキ	上	2	4.5(3)	Ⅲ		
	Vanieria							
		クワクワツガユ	(上)	2.5	3(2)	Ⅲ		
		ハリグワ	(上)	2.5	3(2)	Ⅲ		
	Ficus							
		イチジク	(上)	2	4(3)	Ⅲ		
		ホンバイヌビワ	(上)	2	4(2)	Ⅲ		
		カシワゴムノキ	(上)	2	5(3.5)	Ⅲ		
	Urticaceae							同 上
	Boehmeria							
		コアカン	上	2	3(2)	Ⅲ		
	Santalaceae							
	Buckleya							
		ツクバネノキ	(上)	2.5	3	Ⅱ		
	Champeleia							
		カナビキボク	(上)	2.5		—		
	Loranthaceae							
	Loranthus							
		マツグミ	—			—		
	Viscum							
		ヤドリギ	—			—		
	Trochodendraceae							仮導管に厚く膠質層 発達す。
	Trochodendron							
		ヤマグルマ	上	2	5(4)	Ⅱ		
	Eupteleaceae							同 上
	Euptelea							
		フサザクラ	上	5	6	Ⅱ	正	
	Cercidiphyllaceae							同 上
	Cercidiphyllum							
		カツラ	上	3	7(6)	Ⅱ	正	
	Ranunculaceae							組織異常なし
	Clematis							
		ボタシヅル	—			—		
	Lardizabalaceae							同 上
	Akebia							
		アケビ	—			—		
		ミツバアケビ	—			—		

Stauntonia ムベ	—			—	
Berberidaceae					同上
Berberis メギ	—			—	
Mahonia ヒラギナンテン	—			—	
Nandina ナンテン	—			—	
Menispermaceae					同上
Sinonenum オウツヅラフジ	—			—	
Magnoliaceae					上側の材は白色に見え、木繊維は径六、膜薄く膠質層を生ぜず重孔紋散在す。上側に特に韌皮厚く発達し、韌皮繊維に富む。
Magnolia ホウノキ	上	3	4	—	
タムシバ	上	3	4	—	
シモクレン	上	2.2	2	—	
オウヤマレンゲ	上	4	3	—	
Mickelia オガタマノキ	上	2.2	2	—	
Liliodendron ユリノキ	上	4	3	—	
Illicium シキミ	上	4	4.5	—	
Kadzura サネカズラ	—			—	
Calycanthaceae					
Chimonanthus ロウバイ	上	2.5	3.5(2)	Ⅲ	
Lauraceae					アテは濃色に見え、木繊維の形、排列には異常少し。膠質層は剝離し易し、導管は径小、分布少き傾向あり。
Cinnamomum クスノキ	上	2	3.5(2.5)	Ⅲ	
ニツケイ	上	2	3(2)	Ⅲ	
ヤブニツケイ	上	2	3.5(2)	Ⅲ	
ランダニツケイ	上	2	3.5(2.5)	Ⅲ	
Phoebe タイワンイヌグス	上			Ⅲ	
Neolitsea シロダモ	上	1.5	3.5(2)	Ⅲ	
Beilschmiedia アカハダクスノキ	上			Ⅲ	

科	属	種名	偏心の 傾向	繊維膜の厚さ(μ)		膠質層 の型	アテの 繊維排列	摘要
				正常材	アテ (膠質層)			
	Benzoin							
		ダンコウバイ	上	2.2	4(2.2)	Ⅱ		
		ヤマコウバシ	上	2	3(2)	Ⅱ		
		カナクギノキ	上	2	3(2)	Ⅱ		
		クロモジ	上	2	3.5(2)	Ⅱ		
		タイワンコウバシ	上			Ⅱ		
		テンダイウヤク	上	1	3(2)	Ⅱ		
	Laurus							
		ゲツケイジュ	上	2	3.7(2.7)	Ⅱ		
	Parabenzoin							
		シロモジ	上	2	3.5(2)	Ⅱ		
	Saxiflagaceae							
	Phyladelphus							
		バイカウツギ	—			—		偏心の傾向なく、組織の異常もなし、材は繊維状仮導管よりなる。
		チヨウセンバイカウツギ	—			—		
	Deutschia							
		ウコギ	—			—		
	Hydrangea							
		コアジサイ	—			—		
		ノリウツギ	—			—		
		アマチャ	—			—		
	Itea							
		ズイナ	—			—		
	Ribes							
		スグリ	—			—		
	Pittosporaceae							
	Pittosporum							
		トベラ	上	3	3	—		
	Hamamelidaceae							
	Disanthus							
		マルバノキ	上	3	5.5(4)	Ⅱ		アテは濃色、材は繊維状仮導管よりなり、膠質層はⅡ—Ⅲ型に移行する。導管は径小、分布少き傾向あり。
	Liquidamber							
		フウ	上	2.5	3(2)	Ⅱ—Ⅲ		
	Corylopsis							
		ミヤマトサミズキ	上	2	3(2.5)	Ⅱ		
		ヒユウガミズキ	上	2	4.5(4)	Ⅱ—Ⅲ	正	
	Distilium							
		イスノキ	上	3.5	5(4)	Ⅱ—Ⅲ	正	
	Hamamelis							
		マルバマンサク	上	3	4(3)	Ⅱ		

尾 中 : ア テ の 研 究

Platanaceae						
Platanus						
スズカケノキ	上	3	5(4)	Ⅲ		
Spiraeaceae						
Spiraea						
ホザキシモツケ	—			—		
シモツケ	—			—		
Cydoniaceae						
Pyrus						
ヤマナシ	(上)	2.2	2.5	I	正	
ナシ	(上)	2	3	I		
Malus						
ミツバカイドウ	(上)	3	3	—		
Eryobotrya						
ビロ	(上)	4	4	—		
Photinia						
カナメモチ	(上)	5	5	—		
カマツカ	上	5	5	—		
Amelanchier						
ザイフリボク	上	4	4.5	—		
Sorbus						
ナンキンナナカマド	上	4	4(2.5)	Ⅱ	正	
ツシマナナカマド	(上)	3.5	5(4)	Ⅱ		
Micromeles						
アズキナシ	上	4	5(4)	Ⅱ		
Docyniopsis						
オウウラジロノキ	上	3	4.5(4)	Ⅱ		
Pyracantha						
タチバナモドキ	(上)	3	4	—	正	
Raphiolepis						
シヤリンバイ	(上)	4.5	5	—		
Crataegus						
サンザシ	(上)	3	3	—		
Cormus						
ズミノキ	(上)	3.5	4	I		
Cydonia						
カリ	(上)	5	5	—		
Rosaceae						
Kerria						
ヤマブキ	—			—		組織の異常なし

アテは濃色にしてI  
又はⅡ型の膠質層を  
生ずるが、偏心の程  
度少く、材に木化の  
差なく全く膠質層を  
生じないものもある。  
かゝるものは材が繊  
維状仮導管よりなる。

科	属	種 名	偏心の 傾 向	繊維膜の厚さ (μ)		膠質層 の 型	アテの 繊維排列	摘 要
				正常材	アテ (膠質層)			
	Rubus							
		キイチゴ	—			—		
		クマイチゴ	—			—		
	Rosa							
		バラ	—			—		
	Amygdalaceae							
	Prunus							
		ウワミズザクラ	上	2	4(3.5)	Ⅱ	正	アテは濃色，膠質層はⅡ—Ⅲ型に移行する。
		イヌザクラ	上	2.5	3.5(3)	Ⅱ		韌皮繊維は上側に発達良好である。
		ヤマザクラ	上	2.5	3.5(2)	Ⅱ—Ⅲ	正	
		シオリザクラ	(上)	2	3(2)	Ⅱ	正	
		リンボク	上	2.5	4.5(3)	Ⅱ		
		キンキマメザクラ	上	2	3(2)	Ⅱ—Ⅲ	正	
		ウメ	(上)	3	3			
		モモ	(上)	3	3			
	Fabaceae							
	Albizia							
		ネムノキ	上	2	4(3)	Ⅲ	不齊	木繊維の径アテにて稍々小，排列不正の傾向あり，膠質層は明にⅢ型なるも剥離し難し。導管の径，分布は大差なく，韌皮の発達も大差なし。
	Cercis							
		ハナズボウ	上	1.5	3(2)	Ⅱ		
	Caesalpinia							
		ジャケツイバラ	—	2.5	4(2)	Ⅲ		
	Gleditschia							
		サイカチ	上	2	3(2)	Ⅲ		
	Sophora							
		エンジュ	上	2	3(1.5)	Ⅲ	不齊	
	Cladolastis							
		ユクノキ	上	2	6(4)	Ⅲ		
	Maachia							
		イヌエンジュ	上	2.5	4(2.5)	Ⅲ		
	Cytisus							
		エニシダ	—	2	4(3)	Ⅲ	不齊	
	Indigofera							
		コマツナギ	—	2	3(1)	Ⅲ		
	Wistaria							
		フジ	—	2	3.5(3)	Ⅲ		
	Robinia							
		ハリエンジュ	上	1.5	4(3)	Ⅲ		

尾 中 : ア テ ノ 研 究

Lespedeza						
キハギ	上	3	5(4)	Ⅲ		
Cassia						
タガヤサン	上			Ⅲ		
Rutaceae						
Xanthophyllum						
サンシヨウ	上	2	3(2)	Ⅲ	正	アテは濃色にて別にⅢ型の膠質層を生ずるが、全く之を生じない属も含まれている。
フユザンシヨウ	(上)			Ⅲ		
Fagara						
イヌザンシヨウ	上	2	4(3)	Ⅲ		
カラスザンシヨウ	(上)	2	4(3)	Ⅲ		
Evodia						
チヨウセンゴシユユ	上	2	2.5(1.5)	Ⅲ		
ゴシユユ	上	2.5	4(2)	Ⅲ		
Orixa						
コクサギ	上	2.5	4(2)	Ⅲ		
Phellodendron						
キハダ	上	2	4(3)	Ⅲ		
Skimia						
ツルシキミ	—	1.5	3(2)	Ⅲ		
Poncirus						
カラタチ		1.5	1.5	—		
Citrus						
ミカン	上	2.5	4(3)	Ⅲ		
Clausena						
アカミグツキツ	—			—		
Murraya						
ゲツキツ	—			—		
Glycosmis						
ハナシンボウキ	—			—		
Simarubaceae						
Picrasma						
ニガキ	上	2	2	I		
Ailanthus						
シンジュ	上	3	4(2.5)	Ⅱ		
Bruseraceae						
Canarium						
カンラン	上	2.2	3(2.5)	Ⅱ		
Meliaceae						
Melia						
センダン	上	2	3(2)	Ⅲ		

科	属	種 名	偏心の 傾 向	繊維膜の厚さ (μ)		膠質層 の 型	テアの 繊維排列	摘 要
				正常材	アテ (膠質層)			
		Dysoxylum シマセンダン				—		
Euphorbiaceae								
		Phyllanthus コバンノキ	上	4	5(3)	Ⅲ		アテは濃色、膠質層はⅢ型であるが Daphniphyllumは偏心の傾向なく膠質層を生ぜず、其材は繊維状仮導管よりなる。
		Glochidion カンコノキ	上	2.5	5(3.5)	Ⅲ	正	
		Daphniphyllum ユズリハ エゾユズリハ	— —			— —		
		Mallotus アカメガシワ ウラジロアカメガシワ クスノハアカメガシワ	上 (上) (上)	2	3(2)	Ⅱ Ⅱ Ⅱ		
		Excoecaria シラキ	上	2	4.5(3)	Ⅱ		
		Aleurites アブラギリ				Ⅱ		
		Sapium ナガハナンキンハゼ				Ⅱ		
Buxaceae								
		Buxus ツゲ チヨウセンヒメツゲ	下 下	4.5 4.5	4.5 4.5	— —		下側の材は赤色を呈するが、其繊維状仮導管に異常なし。
Coriariaceae								
		Coriaria ドクウツギ	—			—		組織に異常なし。
Anacardiaceae								
		Rhus ヌルデ ヤマウルシ ツタウルシ	上 上 —	1.6 2 2	3(2) 3.5(2) 3.5(2)	Ⅱ Ⅱ Ⅱ		アテの側の鞣皮に厚膜組織発達す。
		Pistacia ランシンボク	上			Ⅱ		
Aguifoliaceae								
		Ilex クロンヨゴ アカツゲ ソヨゴ	上 上 上	3 2 3	5 3 5	— — —		上側の成長大なる側に濃色の材を見るが、膠質層を生じない。其側の鞣皮に厚膜組織発達する。



尾 中 : ア テ の 研 究

イヌツゲ	(上)	3.5	3.5	—	同上, 材は繊維状仮 導管よりなる。
フウリンウメモドキ	(上)	2.5	4	—	
アオハダ	(上)	2	3	—	
<b>Celastraceae</b>					
<b>Evonymus</b>					
ツリバナ	上	3	3	—	
ツルマサキ	—	2	2	—	
マユミ	上	2.5	2.5	—	
コマユミ	—	2	2	—	
<b>Celastus</b>					
ツルウメモドキ	—	2	2	—	
<b>Tripterigium</b>					
クロツル	—	2.5	2.5	—	
<b>Staphyleaceae</b>					
<b>Euscaphys</b>					
ゴンズイ	—	3	3	—	
<b>Staphylea</b>					
ミツバウツギ	上	3	3	—	
<b>Aceraceae</b>					
<b>Acer</b>					
ヤマンバカエデ	上	2	3(2)	Ⅲ	アテは濃色にて膠質 層著し, 木繊維排列 は下側にて不齊, 細 胞間隙を生ず, 韌皮 繊維は上側に発達す る。
ウリハダカエデ	上	2	4(2)	Ⅲ	
チヨウセンハウチワカエデ	上	2	3(2)	Ⅲ	
イタヤカエデ	上	2.5	4(2)	Ⅲ	
チヨウセンコミネカエデ	上	2	3.5(2)	Ⅲ	
マンシユウカエデ	上	1.5	3(1.5)	Ⅲ	
コミネカエデ	上	2	3.5(2)	Ⅲ	
コハウチワカエデ	上	2	4(3)	Ⅲ	
ウリカエデ	上	2	4(2.5)	Ⅲ	
オガラバナ	上	2	4(2)	Ⅲ	
<b>Hypocastanaceae</b>					
<b>Aesculus</b>					
トチノキ	上	2	5(3)	Ⅲ	同上
<b>Sapindaceae</b>					
<b>Sapindus</b>					
ムクロジ	上	2	3(2)	Ⅲ	同上
<b>Koelreuteria</b>					
タイワンモクゲンジ	上	2	3(2)	Ⅲ	
<b>Sabiaceae</b>					
<b>Meliosma</b>					
アワブキ	上	3.5	3.5	Ⅲ	上側の材は白色, 細胞 膜薄く, 膠質層なし, 導管大型, 数に乏し。

科	属	種 名	偏心の 傾 向	纖維膜の厚さ (μ)		膠質層 の 型	アテの 纖維排列	摘 要
				正常材	アテ (膠質層)			
		ミヤマハハツ	上	3	2.5	—		
Rhamnaceae								
	Rhamnella							
		ネコノチチ	上	2.5	4(3)	Ⅲ	正	
	Berchemia							
		クマヤナギ	上	2.5	5(3.5)	Ⅲ	正	
	Zizyphus							
		サネブトナツメ	上	2.8	3(2)	Ⅲ	正	
	Frangula							
		イソノキ	上	2	4(3)	Ⅲ	正	
	Rhamnus							
		クロウメモドキ	上	2	3.5(2)	Ⅲ	正	
		チヨウセンクロツバラ	上	2	3(2)	Ⅲ	正	
	Hovenia							
		ケンボナシ	上	1.5	3(2)	Ⅲ		
Vitaceae								
	Parthenocissus							
		ツ タ	—			—		組織異常なし
	Ampelopsis							
		ノブドウ	—			—		
Tiliaceae								
	Tilia							
		アムウルシナノキ	上	2	0.7	—		上側の材は白く木纖維径大、膜薄く、膠質層なし、導管大型、
		ジナノキ	上	2	1	—		数少し、特に上側に
		ヘラノキ	上			—		皮厚く、韌皮纖維に
								富む。
Malvaceae								
	Hibiscus							同上
		ムクゲ	上	1.8	1.5	—		
		フヨウ	上	2.0	1	—		
Sterculiaceae								
	Firmiana							
		アオギリ	(上)	1	0.2	—		組織異常なし
Actinidiaceae								
	Actinidia							
		マダタビ	—			—		
		サルナシ	—			—		
Ternstroemiaceae								
	Thea							
		チ ヤ	上	4	4	Ⅱ—I		材は纖維狀仮導管よりなり、膠質層は分化不明瞭なり。導管

Camellia						の分布小なる傾向がある。
ヤブツバキ	上	6	7	II-I		
Stewartia						
ナツツバキ	上	4	4	I	正	
ヒメシヤラ	上	2	4.5	II-I		
Ternstroemia						
モツヨク	上	3.5	6	II-I	正	
Sakakia						
サカキ	上	4	5	II-I		
Eurya						
ヒサカキ	上	3.5	5	II-I	正	
Tamaricaceae						
Tamarix						
ギョリュウ	上	2	2	—		
Flacourtiaceae						アテは濃色
Xylosma						
クスドケイ	上	2.5	4.5(3)	III		
Idesia						
イイギリ	上	2	4(2.5)	III		
Stachyuraceae						組織異常なし
Stachyurus						
マメブシ	—			—		
Hypericaceae						同 上
Hypericus						
キンシバイ	—			—		
Daphnaceae						Tiliaceaeと同じ
Daphne						
ジンチョウゲ	上	2	1	—		
Wikstroemia						
キガンピ	上	2.5	1	—		
Engeworthia						
ミツマタ	上	2.5	1	—		
Elaeagnaceae						組織異常なし
Elaeagnus						
アキグミ	—	2	2	—		
ナワシログミ	—	2.5	2.5	—		
ツルグミ	—	3	3	—		
Lythraceae						アテは濃色
Lagerstroemia						
サルスベリ	上	2	2.5(1.5)	III		
シマサルスベリ	上	2	4(2)	III		

科	属	種 名	偏心の 傾 向	繊維膜の厚さ (u)		膠質層 の 型	アテの 繊維排列	摘 要
				正常材	アテ (膠質層)			
Punicaceae	Pacina	ザクロ	上	2	3(2)	Ⅲ		同上
Alangiaceae	Marlea	ウリノキ	上	2	5	Ⅱ	正	同上
Myrtaceae	Eucalyptus	robusta	上	2	3(2)	Ⅱ-Ⅲ		
Melastomataceae	Melastoma	ノボタン	(上)	1.5	3.5(3)	Ⅲ		
		ヒメノボタン	(上)	1.5	3(2)	Ⅲ	正	
		アカミノボタン	(上)	1.5	3(2)	Ⅲ		
Araliaceae	Fatsia	ヤツデ	—			—		アテは白く見ゆ、膠質層は剥れ易し、偏心の傾向なき属を含む。
	Hedera	キツタ	—			—		
	Kalopanax	ハリギリ	上	2	3(2)	Ⅲ		
		タカノツメ	上	2.5	3.5(2)	Ⅲ		
	Textonia	カクレミノ	上	3	5.5(2.5)	Ⅲ		
	Aralia	タラノキ	上	2.5	3(2)	Ⅲ		
	Acanthopanax	コシアブラ	上	2	3.5(1.5)	Ⅲ		
		ウコギ	—			—		
		マンシユウウコギ	—			—		
Cornaceae	Cornus	ミズキ	上	4	5(4.5)	Ⅱ	正	材は繊維状仮導管よりなり、膠質層は著しからず、導管は径小、分布少き傾向がある。
		チヨウセンミヅキ	上	4	5(4.5)	Ⅱ	正	
		クマノミヅキ	上	4	5(4.5)	Ⅱ	正	
	Helwingia	ハナイカダ	上	5	6(5.5)	Ⅱ		
	Aocuba	アオキ	—	5	5	—		

尾 中 : ア テ の 研 究

Macrocarpium サンシユユ	上	4.5	5(4.5)	Ⅱ		
Cynoxylon ヤマボウシ	上	5	5(4.5)	Ⅱ	正	
Clethraceae						偏心著しきも膠質層 発達せず。
Clethra リョウブ	上	4	5	(Ⅰ)		
Rhodoraceae						偏心著しきも膠質層 を発達せず、材は纖 維状仮導管よりなる。 韌皮は上側に稍々厚 く、厚膜組織に富む。
Tripetaleia ホツツジ	上	2	2.3	—		
Rhododendron						
クロフネツツジ	上	2.7	3	—		
シヤクナギ	上	2.5	3	—		
コバノミツバツツジ	上	3	3.5	—		
Meisteria						
コベニドウダン	上	4	5	—		
サラサドウダン	上	4	4	—		
Pieris アセビ	上	3	3	—		
Xolisma ネジキ	上	3	4	—		
Vaccinium						
オオバスノキ	—			—		
シヤシヤンボ	—			—		
アクシバ	—			—		
Ardisiaceae						偏心の傾向なく、組 織の異常なし。
Maesa						
イズセンリョウ	—			—		
ダイワンセンリョウ	—			—		
Ardesia						
マンリョウ	—			—		
ヤブコウジ	—			—		
Ebenaceae						木繊維に重孔紋あり、 膠質層を生ずるも著 しからず。
Diospyros						
ヤマガキ	(上)	2	3.5(3)	(Ⅱ)	正	
マメガキ	(上)	1.3	2.5(2)	(Ⅱ)		
virginiana	(上)	2.5	3(2.5)	(Ⅱ)		
ヤワラケガキ	(上)			(Ⅱ)		
Symplocaceae						同 上
Palura						
ダンナサワフタギ	(上)	5	5	Ⅰ		

科	属	種 名	偏心の 傾 向	繊維膜の厚さ (μ)		膠質層 の 型	アテの 繊維排列	摘 要
				正常材	アテ (膠質層)			
		サワフタギ	上	4	4	I		同 上
Halesiaceae								
		Pterostyrax						
		アサガラ	上	2.5	3.5	II	正	
		オオバアサガラ	上	2	4	II	正	
		Styrax						
		エゴノキ	上	2	3	(I)		
		ハクウンボク	上	3	3	(I)	正	
		ウラジロエゴノキ	上	3	4	(I)		
Oleaceae								
		Fraxinus						木繊維細胞膜はアテ にて特に厚くならず 膠質層となる傾向あ り。
		チヨウセントネリコ	上	3	3.5	II-I		
		ホソバアオダモ	上	2.8	3	II-I		
		シマトネリコ	上	2	2.5	II-I		
		Forsythia						
		レンギョウ	—			—		
		Syringa						
		チヨウセンハシドイ	上	4	4.5	II	正	
		マンシュウハシドイ	上	3.5	3.5	II	正	
		ハシドイ	上	2	3.5	II		
		Chimonanthus						
		ヒトツバタゴ	上	2.5	3.5	II-I		
		Ligustrum						
		オクイボタ	上	3	3	I		
		Osmanthus						
		モクセイ	上	3	4	I		
Loganiaceae								
		Buddleia						組織異常なし
		フジウツギ	—			—		
Apocynaceae								
		Trachelospermum						同 上
		テイカカツラ	—			—		
		Nelium						
		キョウチクトウ	—			—		
Verbenaceae								
		Caryocarpa						組織異常なし
		ムラサキシキブ	—			—		
		Vitex						
		ハマゴウ	上	3	3	—		

ニンジンボク	上	2.5	2.5	—	
Clerodendron					
クサギ	上	2.5	2	—	
Ehretiaceae					組織の異常なし
Ehretia					
チシヤノキ	—			—	
マルバチシヤノキ	—			—	
Solanaceae					同上
Lycium					
クコ	—			—	
Rhinanthaceae					同上
Powlownia					
キリ	—			—	
Biognoniaceae					同上
Catalpa					
キササゲ	—			—	
Lamiaceae					上側は著しく濃色の材となるも組織的異常なし。
Comanthosphace					
ミカエリソウ	上	2	2.5	—	
Rubiaceae					組織異常なし、Gardenia の下側の材は赤を呈す。
Wendlandia					
アカミツキ	—	—		—	
Cinchona					
キナノキ	—	—		—	
Gardenia					
クチナシ	下	4	4	—	
Diplospora					
ミロミミズ	—			—	
Caprifoliaceae					
Sambucus					
ニワトコ	—			—	
Viburnum					
アラゲガマズミ	—			—	
ミヤマシグレ	—			—	
オオガメノキ	—			—	
ミヤマガマズミ	—			—	
Aberia					
キバナツクバネウツギ	—			—	
Diervilla					
タニウツギ	—			—	

科	属	種 名	偏心の 傾 向	纖維膜の厚さ (μ)		膠質層 の 型	アテの 纖維排列	摘 要
				正常材	アテ (膠質層)			
	Lonicera	ベニバナヒヨウタンボク	—			—		
	Asteraceae							
	Pertya	コウヤボウキ	—			—		

METZGER は膠質層は張力に対して抵抗する意義があるとの考えから、元來蔓茎の植物に発達せるもので、現在かゝる層を生ずる樹木は系統的に蔓茎のものに由來すると想像しているが、JACCARD は之は灌木又は草本に現れず、生育型に従うが、系統的な類縁関係はないと述べている。之に対し BÖNING は生育型の関係よりむしろ系統的な類似性があると考え、筆者の見るところも、生育型の如何に関せず、同科同属のものには同種の膠質層が現れるのが認められた。例えば Fabaceae のフジ、Rhamnaceae のクマヤナギは蔓茎であるが、他の同科の樹種と同様の第Ⅲ型の膠質層を生じ、Urticaceae のコアカソ、Fabaceae のコマツナギ、Rutaceae のツルシキミ、Melastomataceae のノボタンの如きは灌木性であるがその科に特有の膠質層を生ずる。併し、Menispermaceae、Vitaceae、Actinidiaceae の如くすべてが蔓茎植物よりなる科、Berberidaceae、Saxiflagaceae、Spiraeaceae、Rosaceae、Stachyuraceae 等すべてが灌木状をなす樹種よりなる科には此層を生じない。又喬木となるものでも系統的に進歩せるものとされる Metachlamydae に於ては此層を生ずるものが少い。第13表は ZIEGENSPECK の系統樹に従て之等の分化を比較したものである。(次頁参照)

要するに膠質層は原始的な喬木性潤葉樹に特徴的に発達したものと考えられる。尙材の大部分をなす纖維が眞正木纖維であるか、重孔紋を発達せる纖維狀仮導管であるかによつて之に生ずる膠質層の型を異にし、前者には第Ⅲ型、後者には第Ⅱ型を生ずる傾向がある。Salicaceae、Moraceae、Lauraceae、Fabaceae、Anacardiaceae、Sapindaceae 等は前者の例であり、Trochodendraceae、Eupteleaceae、Cercidiphyllaceae、Hamameridaceae、Ternstroemiaceae 等は後者の例である。

D. 眞正木纖維及び纖維狀仮導管

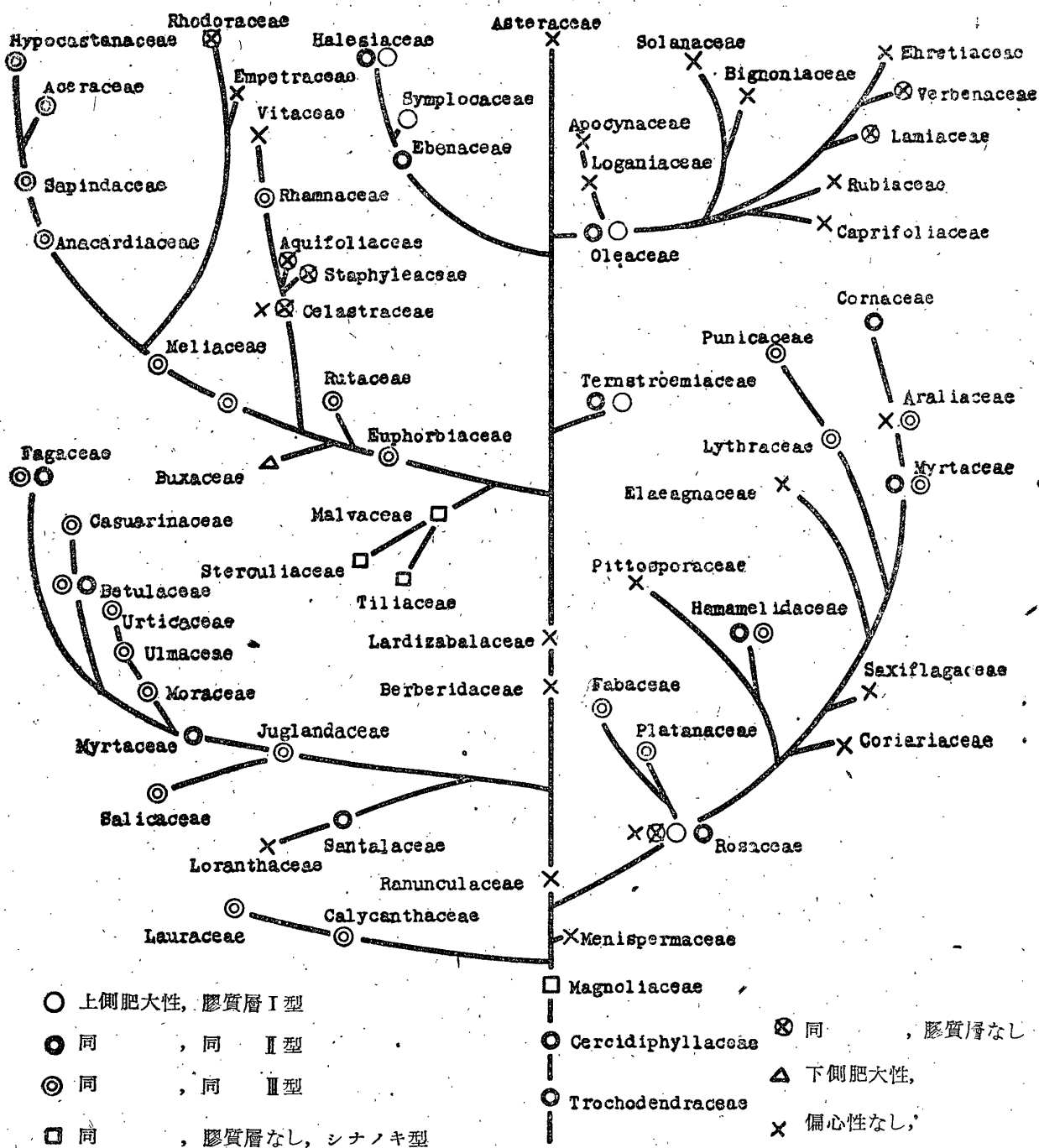
偏心成長に伴い眞正木纖維及び纖維狀仮導管の細胞膜に生ずる膠質層に就ては前述したが、更に他の点に於ても正常材と異なるところが見出される。

1. 横断面に於ける形、大いさ及び排列

JACCARD (1917) は張力を受ける側の材の細胞は井狀に正しい排列をなすと述べてるが、之は樹種によつて一様でない。筆者の観察によると膠質層を生ずるものの中 Casuarinaceae (モクマオウ)、Salicaceae (ドロヤナギ、キツネヤナギ)、Myricaceae (ヤマモモ)、Betulaceae (アカシデ、アサダ、ツノハシバミ、ヒメヤシヤブシ)、Fagaceae (ブナ、クリ、ミズナラ) 等

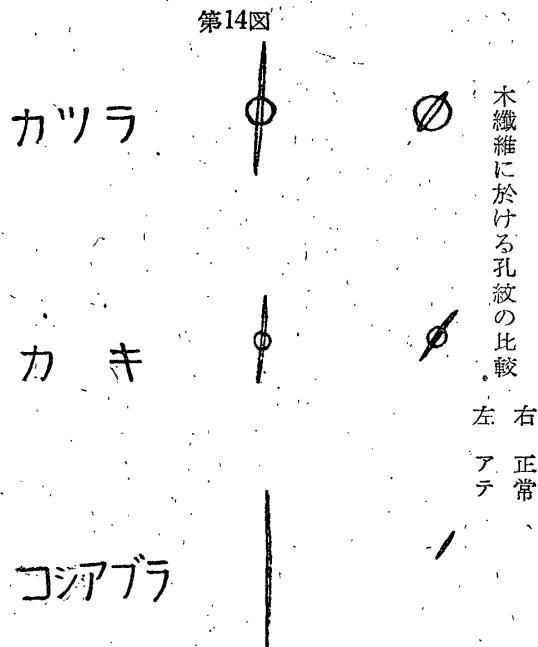


第13表 双子葉木本に於ける偏心性及び膠質層型出現の系統的関係



に於ては上側の材の細胞が放射方向に少々扁平となり、規則正しい排列をなす傾向があるが、Ulmaceae (アキノレ、エノキ、ムクノキ、ケヤキ)、Moraceae (クワ、コウゾ)、Fabaceae (ネムノキ、ユクノキ) 等では細胞は多角形をなし、排列は不規則である。下側の材は何れに於ても排列不整であり、Aceraceae (イタヤカエデ、ミネカエデ) にあつては屢々細胞間隙を生ずる。

Tiliaceae の型の偏心成長をなすものでは上側の材の細胞は径大であり、排列は正しくない。シナノキの一例にて春材部木繊維放射方向径平均上側 40 $\mu$  に対し下側 24 $\mu$  であつた。



2. 細胞膜の厚さ

膠質層Ⅱ及びⅢ型を生ぜるものでは膜の厚さが著しく厚くなるが、Ⅰ型及び膠質層を生じないものでは差がなく、Tiliaの型では上側に於て却つて薄い。シナノキにて測定した例にて春材部平均上側1μに対し下側2μであつた。第12表参照。

3. 孔紋、の形、大いさ及び分布

膠質層を発達せる繊維状仮導管に於ては重孔紋の孔紋室の径は小となるが、内開口は線状に細長く輸出し、眞正木繊維の単孔紋も細長い線状となり何れも細胞の長軸に略々平行をなす。その分布数は極めて少い。第14図参照。

4. 細胞の長さ

細胞の長さは膠質層を生ずる樹種も、生ぜざるものも、又Tiliaの型の偏心成長をなすものに於ても共に上側に長い。第14表はその実測例である。

E. 導管

導管に就ての従來の記載は甚だ区々である。KNY, LÄMMERMAYRは成長の偏る側に導管の発達が良好であるとし、HERRIC及びJACCARDは反対に年輪の廣い側は木繊維が発達して導管に乏しいと称し、BÖNINGは單位横断面積に対する導管の數及び大いさは上側に劣るが、1年輪に於て放射方向に現れる數は同じであると言ひ、

第14表 眞正木繊維又は繊維状仮導管の長さ

樹 種	上 側 (A)	下 側 (B)	比B/A	膠質層の有(+) 無(-)
アカシデ	0.554 ± 0.098 <sup>mm</sup>	0.466 ± 0.080 <sup>mm</sup>	1.19	+
ソウシカンバ	1.454 ± 0.179	1.263 ± 0.222	1.14	+
ミズメ	1.627 ± 0.174	1.424 ± 0.171	1.14	+
ブナ	0.643 ± 0.123	0.414 ± 0.092	1.56	+
ウラジロガシ	0.606 ± 0.114	0.570 ± 0.109	1.06	+
〃	0.632 ± 0.113	0.538 ± 0.113	1.18	+
〃	0.609 ± 0.107	0.532 ± 0.113	1.14	+
ホウノキ	0.538 ± 0.125	0.447 ± 0.099	1.20	-
アズキナシ	1.249 ± 0.151	0.948 ± 0.120	1.32	-
リンボク	1.38	1.25	1.10	+
アオハダ	0.75	0.50	1.50	-
イタヤカエデ	0.795 ± 0.100	0.699 ± 0.097	1.32	+
コミネカエデ	0.644 ± 0.057	0.543 ± 0.075	1.19	+
オガラバナ	0.691 ± 0.066	0.513 ± 0.074	1.34	+
シナノキ	0.602 ± 0.094	0.553 ± 0.110	1.09	-
〃 (韃皮纖維)	1.656 ± 0.153	1.338 ± 0.267	1.24	-
リョウブ	1.72	1.52	1.13	-
アセビ	0.713 ± 0.101	0.683 ± 0.082	1.04	-
ホンシヤクナギ	0.718 ± 0.066	0.635 ± 0.074	1.13	-
コバノミツバツツジ	0.63	0.48	1.32	-
オウカメノキ	1.394 ± 0.182	1.473 ± 0.145	0.95	-偏心性なし

ENGLER (1918) は散孔材に於ては上下に差がないか或は僅に下側の導管の径が大であるが、環孔材に於ては上側に大導管の孔圏が廣く、導管径も大であると述べている。

筆者の測定によると環孔材にあつては大導管の孔圏は上側に廣いが、管孔の径は其側に小である。年輪幅の大なる場合には孔圏の間隔が大となる結果、單位横断面積に対する大導管の分布数が小となるのは当然であるが、小導管に於てもその分布は粗となり、孔径は小となる傾向がある。又カシ類の如く導管が放射方向に排列するものに於ても上側の導管の間隔が大となり、径も小なる傾向が認められる。

散孔材に於ては一般に上側に導管の分布密度小であり、径も小である。特に木纖維の排列が上側に井狀に整然たるものに於て其相違が著しい。

Tilia の型に於ては上側に導管径が大であるが、分布密度は小さい。

第 15 及 16 表は之等の実測結果である。

第15表 導 管 の 平 均 径

樹 種	部 分	切 線 方 向 ( $\mu$ )			放 射 方 向 ( $\mu$ )		
		上 側	下 側	比	上 側	下 側	比
アカシデ		55	61	0.90	71	74	0.96
ミズメ		101	102	0.99	126	160	0.79
ソウシカンバ		38	40	0.95	52	67	0.78
ブナ	春 材	43	44	0.98	37	42	0.88
	秋 材	28	29	0.96	25	27	0.93
ク　　リ	春 材	151	172	0.88	148	157	0.94
ウラジロガシ		74	78	0.95	76	80	0.95
ハウノキ	春 材	55	58	0.95	75	88	0.85
クロモジ	春 材	66	72	0.92	78	120	0.65
ダンコウバイ	春 材	64	67	0.96	69	79	0.87
	秋 材	52	53	0.98	59	60	0.98
マルバマンサク	春 材	53	60	0.88	52	66	0.79
ナナカマド	春 材	41	35	1.17	41	37	1.11
アズキナシ		30	34	0.88	34	37	0.92
ザイフリボク		34	30	1.13	33	30	1.10
ネムノキ		155	171	0.91	123	149	0.83
コマユミ	春 材	27	30	0.90	34	34	1.00
フウリンウメモドキ		34	38	0.90	37	38	0.97
アオハダ	春 材	32	34	0.94	33	34	0.97
ソ　　ゴ		49	56	0.88	67	94	0.71
イタヤカエデ		44	49	0.90	47	51	0.92

オガラバナ		63	69	0.91	46	72	0.92
トチノキ		30	36	0.84	54	71	0.76
ミヤマハハソ		83	74	1.12	84	110	0.76
ミズキ		64	70	0.91	79	91	0.87
リョウブ		78	80	0.98	69	88	0.78
ホンシヤクナギ		24	28	0.86	26	31	0.84
アセビ	春 材	30	31	0.97	34	35	0.88
	秋 材	22	25	0.88	23	24	0.96
サワフタギ	春 材	63	74	0.85	68	79	0.86
	秋 材	59	67	0.88	64	67	0.96
ハクウンボク		74	98	0.76	94	95	0.99
エゴノキ		62	66	0.94	95	98	0.97
クサギ		91	93	0.98	74	82	0.90
シナノキ		60	33	1.82	43	32	1.34

第16表 横断面に於ける導管分布数  
(mm<sup>2</sup>当 但し複合せるも1とす)

樹 種	上 側	下 側	比				
アカシデ	27.6	77.3	0.36	ソヨゴ	37.3	56.6	0.66
ミズメ	13.7	16.0	0.86	フウリンウメモドキ	74.7	92.0	0.81
ソウシカンバ	36.0	57.0	0.63	コマユミ	270.7	348.0	0.77
ブナ	161.0	202.0	0.80	イタヤカエデ	29.3	46.7	0.63
ウラジロガシ	4.5	10.4	0.43	コミネカエデ	44.0	89.3	0.49
ダンコウバイ	40.0	57.6	0.69	オガラバナ	18.7	42.3	0.44
クロモジ	39.6	50.0	0.79	ミヤマハハソ	8.6	38.6	0.22
ツシマナナカマド	293.3	328.0	0.59	トチノキ	60.0	101.0	0.59
ザイフリボク	188.0	230.7	0.81	シナノキ	53.2	75.0	0.71
アズキナシ	132.0	281.3	0.47	ミズキ	79.0	81.3	0.98
マンサク	165.6	246.0	0.67	リョウブ	29.6	52.0	0.57
ネムノキ	8.0	12.3	0.65	シヤクナギ	240.0	418.7	0.57
アオハダ	54.7	136.0	0.40	アセビ	402.7	432.0	0.93
				サワフタギ	86.3	97.3	0.89
				ハクウンボク	32.3	47.0	0.69
				エゴノキ	53.6	55.3	0.97

尙導管の膜の厚さ、孔紋の形等構造上の相違は上下側の間に認められない。

#### F. 仮導管

繊維状仮導管に就ては既に述べた。Quercus, Castanea 等の導管の周囲に仮導管が集つて帯をなすが、之等の細胞自体には別に異常を認めず、只偏心成長に際し上側は導管の密度を減ず

るから、従て此組織の率も減少するのを見る。

#### G. 木柔組織

木柔組織の排列には樹種によつて種々の型がある。その中切線状排列をなすものは偏心成長により年輪の廣くなる側にて間隔が廣くなり、横断面上分布密度が小となる。導管の周囲に聚合する型の木柔組織は、上側に導管の密度の減少するに従い少くなる。何れにしても細胞自体には形態的相違を示さない。

#### H. 射出線

射出線の切線断面上に於ける密度は KNY, LÄMMERMAYR 及び JACCARD によつて成長の偏る側に多いと言われているが、筆者の測定結果では針葉樹の場合と同様の関係があり、一定の傾向がない様である。

#### I. 皮 部

偏心成長の際の成長の偏りは皮部にも現れ、特に *Tilia* の型ではその側に著しく韌皮繊維が増加し繊維の長さも長くなるが、此型に属しないものに於ても、皮層及び韌皮の中に厚角又は厚膜組織が発達する傾向がある。

以上述べ來つた様に潤葉樹の偏心成長に伴う組織には樹種によつて異なるが、種々の点に異常が認められる。就中著しいのは膠質層の出現であつて、屈地性屈曲等の成長運動は此層の形成によつて起ると認められ、之を生じない樹種に於ては幹が傾倒しても起き直る事なく、基部より萌芽を発生し代償主軸となるものが多い。故に針葉樹のアテの生理的機能と対応して潤葉樹のアテは膠質繊維を生ぜる組織と限定するのが適當と考えられる。

## VI アテの化學的 成分

### A. 針葉樹のアテ

針葉樹のアテの特徴は解剖学的に見て、主として仮導管細胞膜の異常構造にあると言う事が出来る。顯微化學的に之を研究したものはエゾマツに就て小原氏 (1939 B) の報告を見るのみであるが、之によるとアテの春材仮導管は塩化亜鉛沃度により第一次膜は暗紫色、第二次肥厚膜の内側には紫黄色のセルロース反応を現し、第二次肥厚膜の外層及び中層外部にて黄色を呈し、リグニンの蓄積の多い事を示すと言う。併し筆者が檢したアカマツ、スギ、ヒノキ等にて強度に発達したアテの場合には全膜層に亘つて著しいリグニン反応が現れ、小原氏の記載せる如きセルロース反応を示す層が認められなかつた。

アテを含む材の化學組成に就ては SCHORGER (1926), DADSWELL 及び HAWLEY (1929) がリグニンに富み、セルロースに乏しい事を記載し、HÖGGLUND LJUNGRÉN (1933) は其他にヘミセルロースが多く、特にグルカンを多く含むがマンナンが少いとした。このマンナンの減少とリグニンの増加には直接関係があると思われている。而してアテのリグニンはメトキシルが少く、メチレンオキシド基に置換せる形をなすとされ、又そのリグノズルホン酸はナフチラミンによる沈澱が少い等、正常材のリグニンと異なるところがある。又アテにはアセトン抽出物が少い。

PILLOW 及び BREY (1935) の分析でもアルコール、ベンゼン、エーテル抽出物に乏しく、1% 苛性曹達可溶物が多いのが認められる。尙筆者の測定では灰分が多い。第17表は之等の分析結果を集録したものである。

第17表 化学組成

樹種	成分	アテ	正常材	比	報告者				
Abies balsamea	セルロース	39.42	50.35	0.78	Schorger				
	アルコール抽出物	1.38	2.05	0.66					
	リグニン	33.60	24.44	1.38					
Picea sitchensis	灰分	0.60	0.20	3.00	Dadswell & Hawley				
	1%苛性曹達可溶物	13.48	13.70	0.99					
	リグニン	30.85	25.84	1.29					
	セルロース	53.67	60.60	0.89					
Picea excelsa	ペントーザン	6.32	5.60	1.13	Högglund u. Ljungren				
	リグニン	38.0	28.0	1.36					
	アセチール	0.8	1.4	0.57					
	樹脂、灰分、蛋白質 其他	4.0	4.8	0.83					
	セルロース	27.3	41.5	0.66					
	ヘミセルロース	29.9	24.3	1.24					
	内加水分解し難き								
	<table border="0"> <tr><td rowspan="3" style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td><td>マンノース</td></tr> <tr><td>キシロース</td></tr> <tr><td>フラクトース</td></tr> </table>	}	マンノース	キシロース		フラクトース	2.1	2.9	0.72
			}	マンノース					
				キシロース					
	フラクトース								
2.4	2.2	1.09							
0.9	1.2	0.75							
加水分解し易き									
<table border="0"> <tr><td rowspan="5" style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td><td>マンノース</td></tr> <tr><td>キシロース</td></tr> <tr><td>フラクトース</td></tr> <tr><td>ガラクトース</td></tr> <tr><td>グルコース及び ウロン酸</td></tr> </table>	}	マンノース	キシロース	フラクトース	ガラクトース	グルコース及び ウロン酸	1.9	7.7	0.25
		}	マンノース						
			キシロース						
			フラクトース						
			ガラクトース						
グルコース及び ウロン酸									
4.0	3.1	1.29							
0.0	0.7	0.00							
0.7	0.7	1.00							
18.6	5.8	3.20							
Pinus taeda	全セルロース	46.1	58.7	0.79	Pillow & Brey				
	αセルロース	34.6	45.7	0.76					
	ペントーザン	12.2	12.4	0.98					
	リグニン	35.2	28.3	1.24					
	アルコール、ベン ゼン抽出物	2.5	2.7	0.93					
	エーテル抽出物	1.3	1.9	0.68					

尾 中 : ア テ の 研 究

	1%苛性曹達可溶物	12.6	9.9	1.27	
	熱水抽出物	2.0	1.8	1.11	
Pinus densiflora	灰 分	0.34	0.25	1.36	尾 中
Chamaecyparis obtusa枝	"	0.45	0.32	1.40	
Ginkgo biloba	"	0.38	0.25	1.52	

アテはリグニンが多いにも拘らず、亜硫酸にて蒸解し易いと言われるが、そのリグニンは細胞間層の他第二次肥厚層に多く分布せるからであろう。普通の処理に於てはパルプ中に猶リグニンが十分除去されていない。而してそのパルプは形が崩壊し、破片となり易く、強度に乏しいと言うのは細胞膜に螺旋状の裂目があるによると考えられる。

B. 潤葉樹のアテ

潤葉樹のアテは前述の通り膠質層の存在によつて特徴づけられる。而して此層はフロログルシン塩酸反応も、モイレの反応も示さず、塩化亜鉛沃度によつて紫色を呈し、濃硫酸に全く分解される事等によつてリグニンを含まないと言う事は出来るが、主たる成分が如何なる種類のセルロースであるか、或はヘミセルロース其他であるか未だ化学的に分析された報告を見ない。

VII アテの物理的性質

A. 色 沢

針葉樹のアテは特異の赤褐色を呈し、その色は秋材とも異なり、強度に発達したものでは色によつて容易に識別される。之は細胞膜が第二次肥厚層にて強く着色せるによるのであるが、水、アルコール、エーテル等の溶剤によつて脱色する事は出来ない。乾燥すれば幾分淡くなるがそれは組織内に空気の入る関係と見られ、濕らすと再び鮮明となる。此材は光を透し難いので薄片にして透過光で見ると更に識別が容易である。

潤葉樹のアテには特別の色はないが多少濃色に見える傾向がある。尤も鋸断面の様な粗な面では却つて白く、反射光にて絹糸光沢を帯びるのである。適確に之を判定するには塩化亜鉛沃度等にて呈色反応を試みる必要がある。

B. 比 重

針葉樹のアテに於ては春秋材を通じ仮導管の細胞膜が厚いから、容積重の大なる事は予想される通りである。第18表はその実測結果、第19表は容積1ccに対する絶乾重量の比を示したものである。

第18表 容 積 重

樹 種	状 態	ア テ	正常材	比	報告者
Pinus densiflora	生 材	1.06	0.98	1.08	尾 中
Chamaecyparis obtusa	"	1.117	1.010	1.11	矢 沢
" pisifera	"	0.947	0.887	1.07	
Pinus densiflora	氣乾状態	0.84	0.64	1.31	尾 中
Chamaecyparis obtusa	"	0.79	0.53	1.49	
Pinus densiflora	絶乾状態	0.62	0.54	1.15	

第19表 容積 (lcc) に対する絶乾重量 (g) の比

樹 種	状 態	ア テ	正 常 材	比	報 告 者
<i>Picea excelsa</i>	生 材	0.53	0.36	1.47	Rothe
<i>Pinus densiflora</i>	"	0.57	0.47	1.20	尾 中
<i>Pseudotsuga Douglasii</i>	"	0.451	0.439	1.03	Trendelenburg
"	"	0.513	0.428	1.20	Pillow & Luxford
<i>Abies concolor</i>	"	0.470	0.346	1.36	
<i>Pinus taeda</i>	"	0.584	0.519	1.13	
" <i>ponderosa</i>	"	0.467	0.354	1.32	
<i>Sequoia sempervirens</i>	"	0.506	0.380	1.33	
<i>Pseudotsuga Douglasii</i>	氣 乾 材	0.527	0.459	1.15	
<i>Abies concolor</i>	"	0.509	0.375	1.36	
<i>Pinus taeda</i>	"	0.619	0.586	1.06	
" <i>ponderosa</i>	"	0.499	0.372	1.32	
<i>Sequoia sempervirens</i>	"	0.510	0.380	1.34	
<i>Picea excelsa</i>	"	0.377	0.359	1.05	

或容積に於ける絶乾重量を細胞膜の眞比重で割るとその容積に対する膜質の実容積が求められるが、ROTHE (1930) が Fichte の例にて計算したところによると、アテにて 23.7~43.6%、正常材にて 19.3~27.6%であつた。尤も之には柔組織の内容物による多少の誤差もあろうし、アテの細胞膜の眞比重が正常材と同じであるか否かも問題である。一般に細胞膜の眞比重は木化と共に小となると言われているが、然らばアテの如く木化の程度の高いものでは更に実質の量が大きい事になる。

潤葉樹のアテも膠質層の存在によつて細胞膜が厚くなり、又導管の径及び分布数が小なる傾向があるから、容積重も膜質の実積も大なる事が予想され、最近平井氏 (1947, 東大演報35) がアサダに就て其様な結果を出しているのを見る。

### C. 水分に関する性質

#### 1. 含水率

生立木に於ける材の含水率は勿論部分により、又季節により相違するものであるが、同一年輪に於てアテと之に対応する側の材とを比較すると、針葉樹の場合第20表Aに示す如く重量率に於ても容積率に於てもアテの方が常に小である。併し氣乾状態の材に就て比較するとアテの方が稍々水分が多い。PILLOW 及び LUXFORD (1937) が温度 110° F, 関係湿度 60%の下に平衡に達した場合の水分を比較した結果を示すと第20表Bに示す通りである。

然るに一度絶対乾燥に附した材を水蒸気を飽和した空気中にて吸濕せしめるとアテの方が吸濕率が低いと言う結果がある。第21表参照。



第20表 含水率 (絶乾重量に対する百分率)

A. 生材

樹種	アテ	正常材	比	報告者
<i>Pseudotsuga Douglasii</i>	44.7%	52.4%	0.85	Jaccard u. Frey
<i>Pinus nigra</i>	76.2	114.7	0.66	
<i>Pseudotsuga Douglasii</i>	43.3	58.3	0.74	Pillow & Luxford
<i>Abies concolor</i>	109.0	187.1	0.58	
<i>Pinus taeda</i>	77.2	101.9	0.76	
// <i>ponderosa</i>	87.5	133.3	0.66	
<i>Sequoia sempervirens</i>	102.0	113.7	0.90	
<i>Chamaecyparis obtusa</i> 下枝	66.8	95.6	0.70	矢沢
// <i>pisifera</i> //	53.2	95.4	0.56	
<i>Ginkgo biloba</i> 辺材	91.7	103.5	0.70	尾中
<i>Pinus densiflora</i> //	105.7	175.3	0.60	
//	89.0	146.0	0.60	
下枝	75.0	92.0	0.82	

B. 氣乾材 (氣温約110°F. 濕度約60%にて平衡せるもの)

<i>Pseudotsuga Douglasii</i>	12.1	11.5	1.05	Pillow & Luxford
<i>Abies concolor</i>	11.9	11.7	1.07	
<i>Pinus taeda</i>	11.7	11.1	1.05	
// <i>ponderosa</i>	12.6	12.0	1.05	
<i>Sequoia sempervirens</i>	10.5	9.9	1.06	

第21表 吸濕率

絶乾材片を飽和水蒸氣中に吸濕せしめた場合の吸濕量を絶乾重量に対する百分率で示す。

樹種	試験日数	アテ	正常材	比	報告者
<i>Pinus nigra</i>	22日	25.5%	27.1%	0.94	Jaccard u. Frey
<i>Pseudotsuga Douglasii</i>	//	25.4	27.0	0.94	
<i>Thujaopsis dolabrata</i>	70	23.2	24.7	0.94	森

之等によつて見るとアテは水分を喪失する事も、吸収する事も正常材に比べて困難であると言ふ事が出来る。此理由はアテの細胞膜が強く木化せるによるものであろう。併し單位容積に対する吸濕量を比較すると、例えば森氏(1933)がアスナロに就て実験したところによれば1cc当り正常材0.10gに対しアテは0.13gを示し、アテの方に大である。之はアテが單位容積に対する膜質の量の大なるに基くものと考えられる。

濶葉樹のアテに就ては此種の実験に乏しいが、JACCARD 及び FREY (1928) が *Populus alba* に就て報告せるところを見ると第22表に示す如く生材の水分はアテの方に稍々多いが、乾燥に際し速かに水分を失

い、一度乾燥したものを飽和水蒸氣中に吸濕せしむるとアテは著しく吸濕能力を失うのが認められる。之は膠質層が乾燥に際し変質せるによると考うべきものではなからうか。

2. 水分透過性

JACCARD 及び FREY は *Pseudotsuga Douglasii* 及び *Populus alba* の材の切線断面にて厚さ 100 $\mu$  の薄片をとり、之を2モルの蔗糖液と水との界面に置き、一定量の水が通過するに要する時間を比較して、前者ではアテ11に対し正常6、後者ではアテ1.5に対し正常材0.7の数字を得た。即ち針葉樹、濶葉樹何れのアテに於ても正常材に比較して水分の透過に対する抵抗が大であると言う事になる。勿論之は組織の一部を用いたものであるから、細胞膜の性質その儘を現したとは言えないが、アテの細胞膜が厚く、且孔紋に乏しいと言う構造上の関係が影響せる事は疑のないところである。

針葉樹のアテの仮導管はその構造から見ても水分通導上適當とは認められないが、実際アテを有する小枝を色素液に挿し、蒸散作用に伴う蒸騰流の状態を見ると、アテの部分にて色素液の上昇が常におくれる。又濶葉樹の場合には蒸騰流は導管中を通り、繊維の細胞膜に現れる膠質層は直接関係はない筈であるがやはりアテの部分に色素液の上昇が少い。この部分は導管の径が小さく、分布密度も少い事が関係するからであらう。

3. 乾燥による収縮率

木材が乾燥に際し、方向によつて収縮率を異にする。すなわち異方性を示す事は周知の事実である。正常の木材は縦の方向に収縮率が最も少く、生の状態より絶乾状態になる迄の収縮は元の長さの0.1~0.35%と言われている。然るにアテに於ては第23表に示す如く此方向の収縮率が著しく大きくそのためにアテを含

第22表 濶葉樹 (*Populus alba*) のアテの水分

状 態	ア テ	正 常 材
生 材	76.6 $\pm$ 1.6	60.5 $\pm$ 1.3
22日間放置後	25.4 $\pm$ 0.4	27.2 $\pm$ 0.8
乾燥後22日間飽和水蒸氣中に吸濕	29.8	34.0

第23表 乾燥による収縮率 A. 縦の方向

生材より絶乾状態迄の収縮量を生材に対する百分率にて示す

樹 種	ア テ	正 常 材	比	報 告 者
<i>Pinus Ponderosa</i>	0.706 <sup>%</sup>	0.176 <sup>%</sup>	4.02	Heck
<i>Pseudotsuga Douglasii</i>	0.20—1.10	0.10—0.25	2—4.4	Trendelenburg
" "	0.67	0.17	3.94	Pillow & Luxford
<i>Abies concolor</i>	0.54	0.12	4.50	
<i>Pinus taeda</i>	1.60	0.14	11.42	
" <i>ponderosa</i>	0.80	0.21	3.81	
<i>Sequoia emperirens</i>	1.19	0.14	8.50	
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	4.60			矢 沢
" <i>pisibera</i>	10.37			
<i>Pinus densiblora</i>	2.03	0.24	8.45	尾 中
" "	2.83	0.19	15.25	

同 B. 横 断 方 向

樹 種	放 射 方 向			切 線 方 向			報 告 者
	ア テ	正 常 材	比	ア テ	正 常 材	比	
Pinus ponderosa	2.15	4.63	0.46	2.61	6.25	0.42	Heck
" "	2.2	3.9	0.56	5.1	6.4	0.80	Pillow & Luxford
Pseudotsuga Douglasii	2.5	3.4	0.74	4.2	5.9	0.71	
Sequoia sempervirens	1.4	1.5	0.93	2.4	3.5	0.69	矢 沢
Chamaecyparis obtusa	2.97			3.51			
" pisifera	2.20			2.50			尾 中
Pinus densiflora	2.58	5.57	0.47	3.94	8.38	0.47	
" "	1.98	5.40	0.37	2.98	7.90	0.38	

む木材は乾燥に際しアテの側へ彎曲し、或はアテの組織の界より割裂する事があり、かかる材料を用いて加工した工作物は濕氣の変化によつて狂いを來し易い。

第24表 自然乾燥による収縮速度

開始6月24日。供試材は縦の方向は 2×2×15cm. 放射方向は 2×2×3cm, 計器 1/100mm 刻度 Dialguage.

日 数	縦 の 方 向		放 射 方 向		11	0.22	0.01	0.68	1.95
	ア テ	正 常 材	ア テ	正 常 材					
1	0.10	0.00	0.15	0.30	12	0.17	0.00	0.59	1.81
2	0.25	0.00	0.75	1.85	13	0.21	0.01	0.66	1.93
3	0.29	0.00	0.80	2.05	14	0.19	0.00	0.65	1.90
4	0.29	0.00	0.80	2.13	15	0.26	0.01	0.76	2.15
5	0.32	0.00	0.83	2.23	16	0.30	0.01	0.81	2.20
6	0.29	0.01	0.80	2.20	17	0.19	0.01	0.61	1.94
7	0.21	0.01	0.64	1.89	18	0.24	0.02	0.71	2.05
8	0.25	0.01	0.74	2.05	19	0.26	0.02	0.76	2.14
9	0.18	0.00	0.59	1.80	20	0.37	0.02	0.86	2.28
10	0.22	0.01	0.70	2.95	21	0.30	0.02	0.85	2.30
					22	0.32	0.02	0.90	2.35

第24表及び第15図はアカマツのアテと正常材に就て、生の状態より自然乾燥に附した場合の収縮を比較したものである。之によつても見らるゝ通り、アテは縦の方向の収縮が著しいが、横断方向には放射方向にも切線方向にも正常材に比し収縮が少い。(第25表参照)。また一度乾燥したものを吸濕せしめた場合の膨脹率に就ても第26表に示した如く同様の関係が見られる。

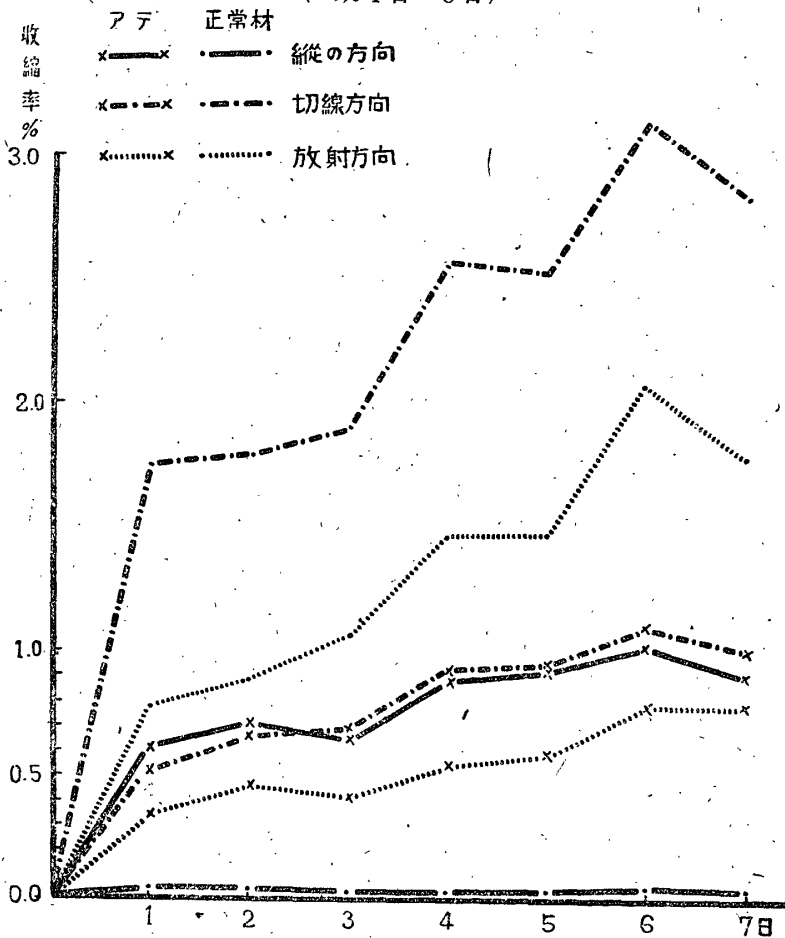
潤葉樹のアテに就ては未だ研究に乏しいが、縦の方向に収縮率の大なる事はアテを含む枝を乾燥した場合、アテの側へ向つて著しく彎曲する事によつて察せられる。第16図(62頁参照)は種々

の樹種にて枝を長さ約30cmに切り、生の状態と絶乾状態の形の変化を示したものである。之によつて見ると乾燥により針葉樹ではアテの存する下側へ、濶葉樹ではアテの存する上側へ彎曲しているが、膠質層を生じないミヤマハハソ、アウブキ、シナソキ等にはかゝる変化が起らない。従て此変化は膠質層の存在によると見るべく、膠質層は乾燥に際し著しく縦の方向に収縮するものと言う事が出来る。\*

又膠質層は切線方向にも著しく収縮するらしく、アテを含む円盤を乾燥すると収縮の結果放射方向にアテの部分にて大なる割目を生ずる。

CLARKE (1939) は *Fagus* のアテにて縦及び切線方向には収縮が著しく、放射方向には正常材と殆んど差がないと記載している。

第15図  
アカマツ材の室内乾燥によるアテと正常材の収縮速度比較  
(11月1日—8日)



第25表 収縮率の三方向に於ける比  
放射方向を1として算出。

樹 種	ア テ			正 常 材			報 告 者
	縦の方向	放射方向	切線方向	縦の方向	放射方向	切線方向	
<i>Pinus ponderosa</i>	0.32	1	1.21	0.038	1	1.35	Heck
" "	0.36	1	2.32	0.054	1	1.64	Pillow & Luxford
<i>Pseudotsuga Douglisii</i>	0.27	1	1.68	0.050	1	1.74	
<i>Sequoia sempervirens</i>	0.85	1	1.72	0.093	1	2.34	矢 沢
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	1.55	1	1.18				
" <i>pisifera</i>	4.7	1	1.14				尾 中
<i>Pinus deusibloria</i>	0.79	1	1.53	0.043	1	1.51	
" "	1.43	1	1.50	0.035	1	1.46	

\* BAUDENDISTEL 及び AKINS (1946. Jour. Fore. 44 : 1053) も Cottonwood にて膠質繊維の存在が縦の収縮率を異常に大ならしめると記載している。

第26表 吸湿による膨脹率

絶乾状態の長さを基として70日間吸湿せし結果

樹種	放射方向			切線方向			報告者
	アテ	正常材	比	アテ	正常材	比	
Thujopsis dolabrata	1.34%	2.34%	0.57	2.93%	5.94%	0.49	森

以上の様な特異な性質が如何なる理由に基くものであるかは木材の収縮の機構を考察する上に甚だ興味ある問題であるが、之に関して先ず注目されるのは細胞膜の細微構造である。

NÄGELI は細胞膜の膨潤異方性を説明するにそのミセル説によつた。即ち彼は膨潤の際ミセル自体は変化する事なく、その間隙に水が入り、ミセル間の間隔を大ならしめるものと考え、ミセルは細長い形であるから方向によつて間隙量に相違があり、之に従て膨脹の程度が異なり膨潤異方性が起るとしたのである。其後 KATZ がセルロースの空間格子の網面の間隔は膨潤に際し変化しない事を確かめ、ミセル内に水が侵入しない事を証明した。又膨潤によりミセル間隙が大となる事は偏光顕微鏡によつて細胞膜の形態複雑屈折が減少する事により認められる。

此場合ミセルと水の分子の状態は次の様に考えられている。即ちセルロースの分子には多数のOH基があるが、水の分子は電氣的にO原子が陰極、H原子が陽極と分れて二極性を示し、そのO原子がセルロースのOH基と結合するものである。然るにミセル内部ではセルロース分子の凝集力によつてOH基のVAN DER WAAL力が飽和されており、ミセル表面の不飽和のOH基のみが水のO原子をとる。従てミセル内部には水は侵入しないが、ミセル表面に結合する水はミセルの間隙をひろげる事になると言うのである。

膨潤に際し細胞膜の容積の増加は加われる水の容積よりも少い。之は Volumkontraktion と言われている現象であるが、ミセル表面にあるOH基によつて水のO原子が結合され、その運動が制限を受けて隣接する水の分子と交互状に規則正しく排列する結果、比較的狭い空間を占めるからであると考えられている。

又膨潤に際し無限に水をとるものではなく、或点に於て最高を示す。若しミセル表面のすべてのOH基が水をとつた場合はミセル相互の直接の結合は失はれ、ゾルの状態になる事になるが、最近 FREY-WYSSLING (1937) 等によつて提唱されているミセル構造の概念によると、ミセルはNÄGELIの考えた様に孤立状態にあるものではなく、相互に隣接せるものと或部分にて直結し、全体が連続せる構造をなすものと言われるから、直結部に於けるOH基は水をとる事なく、従て水の分子と結合するOH基には限度があり、その関係によつて膨潤の最大点 Quellungsmaximum が成立すると言われる。

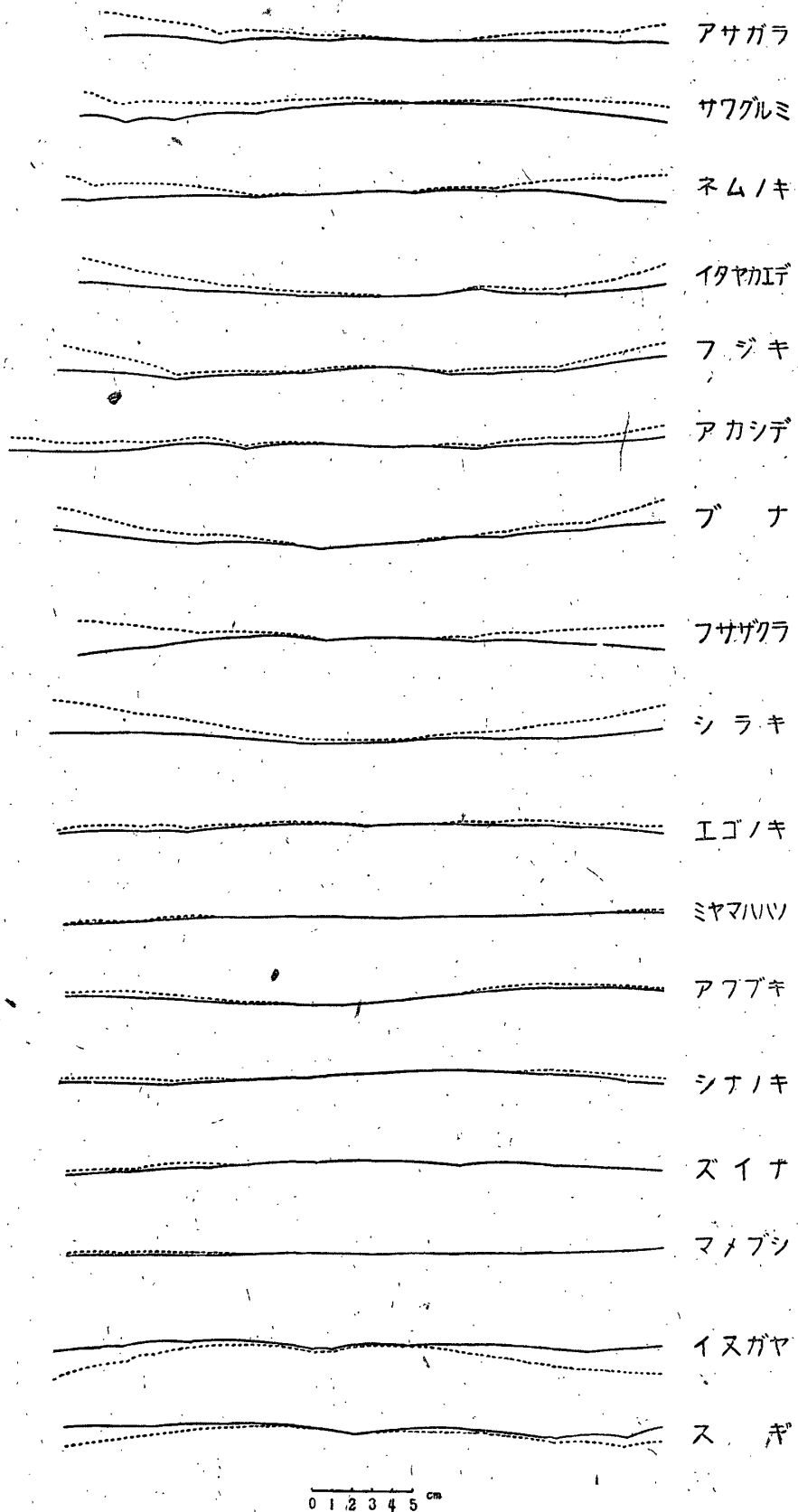
又膨潤に際し水をとる程度、即ち膨潤度 Quellungsgrad は周囲の水蒸気張力との均衡関係によつて定まる。しかし此点は同一の水蒸気張力の下に於ても、乾燥せるものより次第に吸湿する場合と、濕潤状態より乾燥に移る場合とによつて相違があり、後者に比較して前者の場合は常に低い。換言すれば濕潤状態から乾燥して行く場合の方が幾分高い含水率に於て周囲の水蒸気張

力と平衡する。膨潤の Hysterese と言われているのは此現象である。之は膨潤の場合と乾燥の場合とに於て水の分子の結合と分離が同じ様に起らないのに基くと考えねばならぬ。

然るに木材細胞膜はセルロースのみならず多量のリグニンを含む。リグニンは主として細胞間層及び第一次膜に存するものであるが、第二次膜にも分布する。而して此膜は木化に際し急に厚さを増すのが認められるが、複屈折性は変らない。薬剤により細胞膜よりリグニン又はセルロースの何れか一方を除去しても、其膜の形は崩壊せず、只多少収縮する。リグニンのみを残した像では形態複屈折が認められる。之等の点より見てリグニン自体は結晶質をなさず、セルロースミセルの間隙に浸入せる形をなすもので、木化とは要するにリグニンによる一種の膨潤であると考えられている。木化せる細胞膜に於て水による膨潤が著しく

第16図 枝の乾燥による変化

実線は生の状態、点線は絶乾状態



減ずるのは、セルロースミセル表面のOH基のVAN DER WAAL力がリグニンによつて一部飽和されているからであると見る事が出来よう。

セルロースミセルの大きさはFREY-WYSSLING等の提唱する概念に従えば一定のものとは言えないかもしれぬが、従來の計測によると径凡そ50—60 $\mu$ 、長さ600 $\mu$ 以上とされる。然らばミセルの間隙はミセルの長軸に直角の方向に最も多く、膨潤に際し水の分子の入るのも此方向に最も多いとせねばならぬ。

然るに木材組織の大部分を占める木繊維又は仮導管の細胞膜に於てはミセルの排列は必ずしも細胞の形態上の長軸に平行をなすものではない。寧ろ或角度を以て螺旋狀に排列せるものが多い。KOLLMAN (1935) は木材の収縮率の相違は此ミセルの傾斜角の相違に基くものと考えた。ミセルに直角の方向に於ける収縮を、繊維に平行の方向と直角の方向の分力に分ち、前者を  $a_l$ 、後者を  $a_t$  とすると  $\frac{a_t}{a_l} = \tan \theta$  なる式にて、角度  $\theta$  はミセル長軸に直角の方向と繊維の長軸とのなす角に当る。針葉樹の収縮は前述の如く縦の方向に著しく大、横断方向には小であつて両者の率が近接している。若し両者を同一とすると、 $a_t/a_l=1$  となり、 $\theta=45^\circ$  となるが、實際アテのミセル傾斜の実測値は第4表に見る如く  $45^\circ$  に近いものが多い。

此理論は此様にアテに対して甚だ満足な結果を得るが、正常材の収縮に対してはあまりあてはまらない。正常材の縦の方向の収縮は極めて小さく、大体0.5%以内にあり、切線方向の夫は10%近くに達するものがある。従て  $a_t/a_l$  は20以上となり、 $90^\circ-\theta$  は  $3^\circ$  にも達しない。即ちミセルは細胞の長軸に略々平行する筈であるが、實際針葉樹の仮導管に於ては第4表に示した如く  $20-35^\circ$ 、時として  $40^\circ$  以上と記載せるものもあり、 $10^\circ$  以下なる部分は秋材部放射膜に見られるに過ぎぬ。

FREY-WYSSLING (1941) はミセル構造に基く説明方法を種々検討した結果、遂に適當のものを見出し得ないとし、従來の説を棄て、木材の収縮を左右するは第二次肥厚膜に非ずして寧ろ細胞間層の部分にあると想到した。即ち細胞間層を構成するものは主としてペクチン質であり、此物質は著しい膨潤を示すものであるから此物質の多い方向に収縮率も大となると言うのである。細胞間層の厚さが各細胞間に同一であるとするならば、細胞径の小なるもの程單位距離に現れる此層数は増加し、従て収縮率も大となる筈である。彼は之を種々の場合に就て測定し、満足すべき結果を得た。併し乍らアテの収縮率が著しく大なる理由は此説では説明出来ない。針葉樹のアテの仮導管は正常材に比較して確に短小ではあるが、其差25%を超す事はないのに対し、収縮率は正常材の10倍以上に及ぶ。又横断方向に於てアテの仮導管径は正常材の夫と比較して夫程大であるとは言えないにも拘らず収縮率は著しく小である。元來細胞間層は細胞分裂当初こそペクチン質のものと言われるが、老成した材の組織に於ては主としてリグニンよりなると考えられ、ペクチンは仮令存するとしても僅少であろうから此説の根拠も薄弱の様に思われる。

矢張りアテの示す特異な収縮の理由は其第二次肥厚膜の特異な構造に帰すべきものであらう。正常材の収縮の機構が上述の如く未だ明かでない現在、アテの特異性を比較すべきときではない

かもしれぬが、一応の考察を試む事とする。正常材の仮導管に於ては第二次肥厚膜は外中内の三層より成り、各々ミセルの傾斜回旋の方向を異にし、又相隣る細胞の膜のミセルの傾斜は互に交叉し細胞間層によつて密に接着された構造をなしている。従て各層の収縮は恰も合板の如く互に牽制し合う状態にあると考えられる。然るに細胞膜の放射方向にはかかる關係に制限されず収縮が起るから乾燥と共に細胞膜はうすくなる。光本氏 (1945) が薄い横断切片に就て鏡檢したところによると夫は約 30% に及ぶ収縮を示しているものがある。之に従て細胞腔も廣くなるが、更に細胞の外径も収縮している。此際若しミセル長軸の方向には収縮が起らないものとするれば、螺旋狀排列に於て径の減少は傾斜角の減少を來し、其結果として縦の方向に伸長を見なければならぬ。併しミセル長軸の方向にも短軸の方向の何分の 1 かの収縮は起ると考えて差支えなく、其収縮と前記の伸長が相殺して結局少許の収縮率が現れると見る事が出来るではなからうか。

然るにアテに於ては仮導管の第二次肥厚膜に 3 層構造を見ず、ミセルは整一に約  $45^\circ$  傾斜し、之に沿うて裂目が放射螺旋狀に発達して細胞膜を細胞内腔に向つて多数の褶に分離し、且各細胞間には細胞間隙を生じて接着も十分でない。従て各ミセル間隙に現れる収縮は大なる制約を受けずしてほとんど其儘膜層の収縮に現れ、更に組織全体の収縮を生じ前記 KOLLMANN の説に一致した結果を示すのではあるまいか。

尙注意すべきはアテの仮導管細胞膜が強く木化せる事である。先にアテが吸濕性に乏しい事を述べたが、之はセルロースの一部の OH 基の VAN DER WAAL 力がリグニンの結合により失われるからであるとして一応説明がつく。而してアテの横断方向に於ける収縮率の小なる事にも之が關係するであろう。しかし木化細胞膜は顯微化学的にセルロース反応を示さず、又ヨード及びコンゴレット 2 色性等に於ても典型的なミセル表面反応を現さないから、セルロースミセルの表面は全くリグニンに包圍されていると見なければならぬ。然らばセルロースミセル表面に於ける OH 基の VAN DER WALL 力に基く水の膨潤は、木化細胞膜に於て考えられなくなる。此点に就き FREY-WYSSLING (1937) のミセル構造に対する構想は極めて明確な解答を与うるものである。彼によると径約  $60\text{\AA}$  のミセルが約  $10\text{\AA}$  の間隔を以て集つて Mikrofibrillen を構成し、更に之が集つて Fibrillen をなすのであるが、Mikrofibrillen の間には約  $100\text{\AA}$  の幅の Kapillare Intermicellargänge がある。之等の間隙はセルロース分子の生ずる際グルコースの Hydrationswasser が遊離滴出するによつて現れると考えられている。ともあれミセル間隙には幅約  $10\text{\AA}$  と  $100\text{\AA}$  の 2 種があり、両者は互に連絡せるものであるが、木化の場合リグニンは後者に侵入し、水による膨潤には主として前者が關係すると言う。然らば木化細胞膜に更に水による膨潤が起る事は異とするに足らぬであろう。

潤葉樹のアテの収縮現象に就ては現在研究が十分でない。只乾燥の際異常に収縮するのは膠質層の存在に基くと見做される事は既に述べた通りである。膠質層のミセルは細胞の長軸に略々平行に排列すると見られるにも拘らず、縦の方向にも横断方向にも著しく収縮する理由は、普通のセルロースミセルの収縮によつては考えられない。此層の化学組成は未だ定められておらぬが、おそらく質的にセルロースと異なる収縮し易い物質によつて構成されているのであろう。CLARK



は放射方向の収縮率のみは比較的小であると述べているが、夫は彼が薄い横断截片の収縮を鏡下に測定した際、射出線の存在が放射方向の収縮を制限すると称している事があてはめられるかもしれぬ。之等の問題に就ては別に稿を改めて論ずる事とする。

#### D. 生材内に於ける応力

正常な成長をなせる生立木に於て、外側の材は多少収縮せんとする応力を有する。JACOBS (1938) は *Eucalyptus* 其他針葉樹及び潤葉樹に亘る多くの材料に就て、生木の材を予め両端を残して中央部を縦に細く挽き割り、外側より順次内部へ切り離して行くと、外側の材は切断と同時に元の長さより短縮する事を認め、繊維が縦の方向に収縮せんとする応力を有するものとして之を *Fibre tension* と呼んだ。本邦産の樹木に就ては渡辺氏 (1942) の研究がある。

此場合内部の材は幾分伸長するのを見るが、夫は外側の材の張力によつて収縮され、受動的に生じた応力によると考えられる。勿論繊維飽和点以上に水分を含める生材に起る現象であるから乾燥に伴う収縮とは別のものである。JACOBS は此原因に就て膠状の形成層より材の細胞が固形化する際僅に収縮する傾向があり、各細胞の微小な此張力が累積してかゝる応力を生ずるに至るのであろうと見ている。之より先 MÜNCH (1937) は *Fichte* のアテが縦の方向に伸長せんとする内部応力を有する事を認め、之によつて屈地性屈曲が起るとした事は既に述べた。又 JACCARD (1938) は鉛直面内に輪状に彎曲した幹を、アテの形成後上半と下半に切り離すと針葉樹でも潤葉樹でも上半にては輪が開く様に、下半にては輪が閉じる様な形に変形するのを認めたが、之はアテによつて生じた内部応力によると見る事が出来る。

アテを生ずるに従い、かゝる応力が増加する事に就き JACOBS (1939) は興味ある実験を行つている。即ち *Eucalyptus gigantea* 及び *Pinus radiata* の幹を一定の位置迄彎曲しおき、之に要する力を撥條秤にて測定したのに、彎曲当初数日間は根の弛みによるためか其力は減するが、後次第に日と共に、アテの形成の増加に伴い多くの力を要する様になるのを認めた。

アテが一側に生じた場合、針葉樹では其側の材が伸長するから反対側の材は關係的に圧縮される。しかしアテの伸長は他の組織の抵抗によつて十分発現されずに潜在するものもある。従て各部を縦に切り離すとアテの側も其反対の側の組織も伸長し、中央部は逆に収縮するのが認められる。アテを含む幹を横断する際、針葉樹では鋸が噛まれるのは樵夫等のよく知るところであり、米國にてアテを *Timber bind* と呼ぶと言うのもそのためであろう。

針葉樹のアテが此様に縦の方向に伸長するのはたして如何なる機構によるものであろうか。先ず此処に各々の細胞の伸長する事が考えられる。しかしアテの仮導管は正常より短いものである。又正常材の仮導管に於ても内部の年輪より外部の年輪に向い或程度迄長くなり、其後は略々一定の長さを保つ事は SANIO の法則として周知の事実であるが、組織の緊張は常に外部に向つて収縮する傾向を示す。従て組織の応力と單一細胞の長さとは何等關係がないとせねばならぬ。MÜNCH (1939) はアテの仮導管が波状材の如く曲り、其先端は屢々放射方向に撞木状に分岐屈曲する例を挙げ、之は伸長成長を阻まれた事を物語るものと考え、各細胞は弾性限界内に於て縦の方向に圧縮されたと同様の状態にあり、自ら伸長せんとする応力を有すると見ている。仮導管は

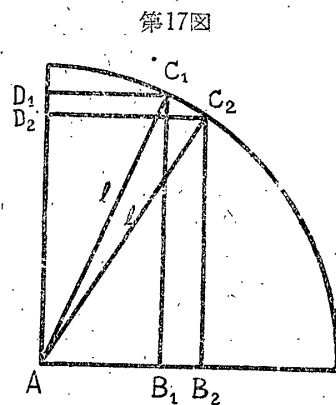
成長に際しその母細胞の中央部に斜に分裂膜を生じ、娘細胞が互に迂り合つて両端が伸長し、所謂 *Gleitendes Wachstum* を行うと言われているが、夫は細胞間層が未だ半流動状態の時に起るものであるから、実際の伸長に伴う縦圧があるとしても、其力が集積される程に互の細胞の接着が十分でない。アテの仮導管の横断面が円形となり、細胞間隙の現れるのは分裂後間もなく、第一次膜の伸長中に起る現象であつて、之は細胞の膨圧の高い事を物語るものと見られ、又実際アテを形成する側の形成層の細胞液の滲透圧が高い事は実測されている<sup>34)</sup>。しかしその圧力が細胞完成後原形質を消失した部分に迄応力を保てる理由となるとは考えられない。結局此力は第二次肥厚膜に求むべきであろう。

MÜNCH (1933) は材を伸長するには之を圧縮するに要すると同様の力を要するとし、Fichte の材を1%伸長するには凡そ  $300\text{kg/cm}^2$  の力を必要とすると見積られるが、形成層附近の膨圧に夫程大なるものはないから、何等か他の強力な *Kristallisationsenergie*, *Chemische Affinität*, *Intussusceptionsenergie* の如きが与るものと想像している。BAILEY 及び KERR (1935) によると細胞膜は成長に際し、先ず第一次膜が伸長すると共に薄くなり、所々にセルロース分子が疎に断続する様になる。而して其間へセルロース分子の *Intussusception* が行われるが、第二次肥厚膜の成長は主として *Aposition* によるもので、既成のミセル構造の中へ新にセルロースの加わる様な事はないと見ている。若し後に其ミセル構造中に入るものがあるとすれば、木化する場合のリグニンである。木化はリグニンによる一種の膨潤であると言われ、之に伴つて細胞膜は著しく厚さを増す。アテの仮導管の細胞膜は強く木化せる事を特徴とするものであるが、その膜が特に厚い理由の1は此強度の木化に伴う膨潤の結果と見る事が出来る。木化による膨潤がミセル長軸に直角の方向に主として起るものとすれば、アテのミセルは細胞の長軸に約  $45^\circ$  傾斜せるものであるから、細胞膜は縦の方向にも切線方向にも略々同程度に伸長する筈である。而して乾燥による収縮の項下に述べた如く、アテの仮導管は円筒状をなし隣接する細胞との接着面が少いから、ミセルの排列方向を異にする隣接細胞膜との間の伸縮に対する制限が少く、比較的容易に伸長し得るものと考えられ、しかも相隣る細胞との接着は失われないのであるから、個々の細胞の膨潤による縦の方向の伸長力は、相集積して組織に強大な伸長力を与えるに至る言う事が出来る。之に対し切線方向へ伸長せしむる分力は細胞の横断方向の径を増し、組織に切線方向への圧力を生ぜしめる。又細胞の放射方向にはミセルの傾斜は関係しないから、最も著しい膨潤が起る筈であるが、膜の厚さが内方に向つて大となると膜の内周が小となるから、其処に膜質は切線方向に圧せられる形となる。之と前述の切線方向の伸長と相俟つて膜層に放射方向の皺曲と裂目を生ぜしめ、又縦の方向の伸長も既存の組織の抵抗によつて十分発現されず、受動的に縦圧を受ける形となつて膜層の裂目はミセルの排列方向に沿うて進行し、アテの仮導管の細胞膜に見られる放射螺旋状の裂線が現れると想像出来ぬ事もないであろう。

正常材の仮導管に於てもミセルの排列は同じく螺旋状ではあるが、第二次膜の中層の木化は極めて弱度であつて、HARLOW (1939) の如きは一時此層にリグニンの存在を否定した程である。従て木化に伴う膨潤も弱度と考へべく、JACOBS (1939) の想像せる細胞膜の固形化に際しての収

縮の如きが主となり、組織に縦の方向に収縮する張力を生じたものとも見られる。併し JACOBS は横断面上切線方向に向つては伸長せんとする応力があると言うから、若し然らば此生材内に於ける応力は簡単な収縮現象にて説明されそうもない。

潤葉樹に於ては正常材もアテも共に縦の方向に収縮せんとする応力を有するが、アテの部分は特に著しい。潤葉樹のアテの木繊維は正常よりも幾分長い傾向があるが、細胞の伸長成長が此張力に関係のない事は前に述べた通りである。潤葉樹のアテが収縮する事を発見した MÜNCH (1938) は其理由に就て種々の考察を試み、アテに特徴的な存在である膠質層が著しく膨潤せる如き印象を与える事に着目した。併し此層のミセル排列は略々細胞の長軸に平行すると見られるからたとえ此層が膨潤したとしても直接長さの収縮を起すとする事は出来ないが、膨潤によつて膜が厚くなると共に外層を横断方向に内側より圧すると考える事が出来る。此際外層が螺旋状ミセル構造を有するものとする、横に引き伸されると同時に縦の方向に短縮する。第17図に於て  $AB_1$  を外層の幅、 $AD_1$  を高さとし、 $AC_1$  をミセルの傾斜方向とする。而して膠質層が膨潤によつて内より圧迫し、幅  $AB_1$  を  $AB_2$  に迄伸長したとし、ミセルの長軸の方向即ちセルロースの主原子價連鎖の方向は引張強度が特に大であると言われるから、此方向の長さ  $l$  を不変と仮定すると、高さ  $AD_1$  は  $AD_2$  に短縮する。此様にして膠質層の膨潤が細胞を短縮せしめ、此力が集つて組織に著しい縦張力を生ぜしめると説明した。



此説には併し、膠質層が形成後更に膨潤すると言う事、外層が螺旋状ミセル構造を有すると言う事、而して両層は不連続性にして互に多少動き得る事等種々の前提を必要とする。言う迄もなく膠質層は全く木化しない事を特徴とするものであるからリグニンによる膨潤は無関係である。又繊維飽和点以上に水分を有せる膜の事であるから、更に水分による膨潤も考えられない。何等か別の意味に於ける膜の厚さの急激な増加が起る可能性が証明されなければならぬ。又乾燥によつて膠質層が収縮する場合、上記の現象が可逆的であるならば組織は多少伸長すべき筈であるが事實は更に著しく収縮する。第二次肥厚膜の外層に於て、ミセルの傾斜が稍々大なる事はブナの木繊維の孔紋の傾斜角等から推定されているが、膠質層の発達したものでは其層が極めて薄く、果して其層の短縮によつて細胞の短縮を起し得るかは疑わしい。むしろ潤葉樹のアテの短縮は膠質層自体の直接の収縮に基くものではなからうか。前に乾燥に伴う長さの収縮の性質より考察した如く、此層は正常材の細胞膜を成せるセルロースの糸状分子とは異なる組成を有すと見られ、此層の完成固形化に際し少くとも縦の方向に著しい収縮を來し、水分を失えば更に収縮する性質を有するのではなからうか。何れにせよ潤葉樹のアテの特性を考えるには未だ膠質層に就ての知見があまりに不足である。

### VIII アテの機械的強度

機械的の強度は物理的性質の一部であらうが、従來の慣習によつて項を別にした。此性質はア

テが嘗て機械的刺戟に基いて形成され、機械的に樹体を支持する機能を有するものと考えられた関係上、其説を吟味すべく特に生材に就て研究されたものが多い。R. HARTIG (1899), SONTAG (1903), ROTHE (1930) 等の業績はみな夫である。アテは又乾燥せる場合にも正常材と異なる点があり、利用上の性質を知るには乾燥せる材に就ても研究の必要がある。之に就ては TRENDLENBURG (1932), 森 (1933), PILLOW 及び LUXFORD (1937) 等の報告がある。茲に之等の結果と筆者の実験を併せて其性質を検討する事とする。尙多くの報告に於てアテと比較対照された材はアテの反対側の同年輪の部分であるが、其側は年輪幅が狭いから、之に伴う性質の相違を考慮しなければなるまい。解剖上の所見として R. HARTIG が Fichte の此側の材の秋材仮導管の内層に略水平の横皺が現れる事を指摘しているが、他の属に於ては殆んど見られぬ様に思う。尙針葉樹にて此側の材を Rotholz に対して Weipholz とし、又 Druckholz に対して Zugholz と記載されているが、潤葉樹の Zugholz とは全く意味の異なるものである。

A. 圧縮強度

アテの圧縮強度は従来繊維に平行の方向に就てのみ研究がある。先ず針葉樹の生材に於ける成績を一括すると第 27 表に示す如く常にアテの方に大である。

機械的強度は勿論含水率に影響され、アテの含水率は生の場合常に低いが、何れにしても繊維飽和点以上にあるのであるから此関係は考慮の必要がない。

氣乾状態に於ては第 27 表 B に見る如くアテの強度の方が或は高く或は低い。此場合アテの含水率は少々高いが、其差は前掲第 20 表に見る如く 0.6% 内外に止まるから問題とならぬであろう。圧縮強度は一般に水分の減少に伴い大となるが、生材と氣乾材の強度を比較するとアテは水分の減少に伴う強度の増加程度が少いと言う事が出来る。

第 27 表 圧 縮 強 度 (縦の方向)  
A. 生 材

樹 種	強 度 (kg/cm <sup>2</sup> )			強度 / 乾物重量率			報 告 者
	ア テ	正常材	比	ア テ	正常比	比	
Pinus densiflora	300	210	1.43	5.26	4.36	1.20	尾 中
"    側枝	312	233	1.34	5.46	4.95	1.10	
Picea excelsa	403	241	1.67				Rothe
Pseudotsuga Douglasii	243	226	1.08	5.2	5.17	1.01	Trendelenburg
"    "	292	231	1.27	5.69	5.39	1.06	Pillow & Luxford
Abies concolor	252	195	1.29	5.36	5.65	0.95	
Pinus taeda	308	264	1.16	5.27	5.09	1.04	
"    ponderosa	232	165	1.41	4.97	4.65	1.07	
Sequoia semperviciens	326	278	1.17	6.44	7.31	0.88	

B. 氣 乾 材

樹 種	強 度 (kg/cm <sup>2</sup> )			強度 / 乾物重量率			報 告 者
	ア テ	正常材	比	ア テ	正常材	比	
<i>Thujopsis dolabrata</i>	415	348	1.19	8.25	9.16	0.90	森
<i>Picea excelsa</i>	358	344	1.04	9.4	9.5	0.99	Janka
<i>Pinus ponderosa</i>	570	519	1.10	8.4	9.4	0.89	Heck
<i>Pseudotsuga Douglasii</i>	414	644	0.64	7.55	10.65	0.71	Trendelenburg
"	502	508	0.99	9.52	11.07	0.86	Pillow & Luxford
<i>Abies concolor</i>	415	367	1.13	8.15	9.79	0.83	
<i>Pinus taeda</i>	506	600	0.84	8.18	10.23	0.80	
" <i>ponderosa</i>	420	366	1.14	8.41	9.85	0.86	
<i>Sequoiia sempervirens</i>	510	503	1.01	9.99	13.25	0.75	

備考 .Pillow 等の供試材は 1×1×4inch, 森は 5cm<sup>3</sup>. 尾中は 2×2×4cm とし, 側枝は径 6cm のものを長さ 3cm に切り, アテと反対側との材を折半して比較した。年輪幅アテは 3-4mm, 反対側は 2mm 内外。

尙 Pillow 等の結果は lbs/inch<sup>2</sup> にて報告されているから比較の便宜上, 筆者に於て kg/cm<sup>2</sup> に改算の上挿入した。

乾物重量率とは 1cc 対絶乾重量の比×100 (第19表参照) とす。

圧縮強度は又単位容積に対する絶乾重量の大なる程, 換言すれば細胞膜質の量の大なる程大である傾向があると言われているが, アテは容積重の大であるに比較して強度が夫程高くない。強度を単位容積に対する絶乾重量の比で除した値は第27表右欄に示した如く, 生材の場合でもアテの方が小なる事があり, 氣乾の場合には常に小である。

アテが圧縮強度に富むと言うのは要するに膜質の量が大なるによるもので, 結局細胞膜が厚いのに基くと見られ, 膜の構造から言うならば寧ろ不利なものとならねばならぬ。

圧縮ヤング係数は第28表に示す通りアテの方に小であるが, 只 ROTHE が *Fichte* の生材にて報告せるものに反対の例がある。筆者がアカマツに就て測定したところでは第29表に示す如く, 同一荷重に対しアテは常に大なる縮みを生じている。

第28表 圧縮ヤング係数 (縦の方向)

樹 種	状 態	ア テ kg/cm <sup>2</sup>	正常材 kg/cm <sup>2</sup>	比	報 告 者
<i>Picea excelsa</i>	生 材	68.650	128.100	0.53	R. Hartig
"	"	45.333	10.777	0.22	Rothe
<i>Pseudotsuga Douglasii</i>	"	72.233	107.066	0.67	Trendelenburg
"	氣乾材	72.400	159.050	0.46	
<i>Pscea excelsa</i>	"	97.600	113.600	0.86	Janka

第29表 縦圧力による縮み

材料 Pinus densiflora. 生材, 試験断 2×2×4cm

荷 重 kg/cm <sup>2</sup>		100	200	300	400	500
縮みの量 μ	ア テ	13	22	33	41	51
	正 常 材	5	9	14	18	22
	比	2.6	2.4	2.4	2.3	2.3

潤葉樹のアテに就ては研究に乏しく、僅に CLARKE (1936) が Fagus, Ulmus の材に於てアテは比重が大であるにも拘らず圧縮強度に乏しい事を認め、之は膠質層の存在によると考察せる記載があり、又最近平井氏 (1947. 東大演報 No. 35) がアサダに就て同様の結果を得ているのを見るのみである。

B. 引張強度

針葉樹のアテの縦の方向に於ける引張強度は第30表に示す如く、氣乾状態にても生の状態にても常に低い。只氣乾状態に於て其差が少い傾向が認められる。之は乾燥に際し正常材の強度は減少するのに対し、アテでは却つて増加する傾向があるからである。

第30表 引 張 強 度 (縦の方向)  
生 材

樹 種	強 度 (kg/cm <sup>2</sup> )			強度 / 乾物重量率			報 告 者
	ア テ	正常材	比	ア テ	正常材	比	
Picea excelsa 春材	645	1180	0.55				Sonntag
秋材	1590	2360	0.67				
Pinus densiflora	311	925	0.34	5.4	19.7	0.28	尾 中
Pseudotsuga Douglasii	765	974	0.79	14.91	22.75	0.66	Pillow & Lux- fora
Pinus ponderosa	681	828	0.82	14.59	23.40	0.62	
Sequoia sempervirens	415	783	0.58	8.21	20.61	0.40	
氣 乾 材							
Pseudotsuga Douglasii	900	928	0.97	17.03	22.22	0.77	
Sequoia sempervirens	532	622	0.85	10.42	16.37	0.64	

試験片は Pillow等 は 0.5×0.5×30inch. 尾中は 1×1×10cm を用いた。  
年輪幅アテは 3mm. 反対側 2mm.

細胞膜の実質の量に対する強度で比較すると、アテは容積重が高いから、第30表右欄に見る如く更に小なる値となる。従てアテの細胞膜の構造は縦張力に対して極めて不利なるものとせざるを得ない。之は其ミセル傾斜の大なる点より見ても、第二次肥厚膜に裂線の存する事によつても又リグニンが多くセルロースに乏しいと言う化学組成から考えてもうなずかれるところである。

引張のヤング係数は R. HARTIG の Fichte の例によるとアテ 63.900kg/cm<sup>2</sup>, 反対側の材 116.000 kg/cm<sup>2</sup> とされ、アテの方に著しく小さい。

此場合の破壊部は短く横断された形となり、鏡下に見ると屢々細胞膜の螺旋状裂線に沿うて破

れているのが認められる。

潤葉樹のアテに就ては METZGER (1908) が Birke にてアテ 1350 kg/cm<sup>2</sup>, 反対側 470 kg/cm<sup>2</sup> の強度を示し、アテが著しく引張強度に富むとしているが、膜質の強度は不明である。

以上によると針葉樹のアテは圧縮強度に富むが、膜質の強度では殆んど差がなく、引張強度は常に低い。而してヤング率は何れの場合にも小であると言う事が出来る。

PILLOW 及び LUXFORD は縦の方向の圧縮強度は Fibril が細胞の長軸より傾く程大となるとし、其角度の正弦と強度/比重の値は直線的な関係にあると述べ、又 KOLLMAN (1934) は引張ヤング係数は主原子價連鎖の方向に最も大きく、従てミセルが傾斜する程小となると称している。

SONNTAG (1909) は縦張力による破壊時の伸長率を Duktität と称し、Pseudotsuga Douglasii のアテでは其値 3.7—7.0% であるが、ラミーの靱皮繊維では 1.7% に過ぎぬのは、細胞膜の微構造の相違によるものであらうとした。すなわち前者の外層は 90°, 内層は 48—71° 傾斜せる螺旋状構造であるのに対し、後者は 0° に近く殆んど平行の構造を有する。ミセルの傾斜が大なる程細胞膜は縦に伸長し易いと言うのである。

MÜNCH (1938) は細胞膜の螺旋状構造は肥厚の際の状態によつて偶然定まるものではなく、何等かの機能に関係する意義があるものと考え、動物の骨の構造と比較せる結果、仮導管又は木繊維の第二次肥厚膜の外及び内層は中層よりミセル傾斜の大なる事に関し、次の様な説明を与えている。即ち細胞に縦圧力が加えられた場合、中層の螺旋は短縮するが、其際径を増し、縦圧の一部は横圧に轉じて外層を内より外に向い圧迫し、夫は螺旋の傾斜の大なる外層によつて支えられる。反対に細胞が縦張力を受ける場合には中層の螺旋が伸長し、同時に螺旋の径を減ずるから内層を外より内へ圧迫する横圧を生じ、夫は螺旋の傾斜の大なる内層に支えられる。針葉樹のアテの仮導管に於ては第二次肥厚膜にミセル傾斜の特に大なる内層を缺くから、縦の張力に対しては内側よりの抵抗がなく、従て伸長し易い。しかし第一次膜は厚いから縦の圧力に対しては、第二次肥厚膜の螺旋にて内より外へ放射方向に向う様に轉じられた横圧に強く抵抗し、強度が大になると考えられている。

然るに實際上アテは縦圧に対しても縮み易く、細胞膜の縦の圧縮強度は必ずしも大ではない。アテが組織として此強度に優る理由は主として細胞膜が厚いと言う事に基くと見られ、又縦の方向の引張強度に劣るのは細胞膜に螺旋状の裂目があるによると思われる。従てアテは材の強度を増加する様に分化したものと見るより、元來軸に成長運動を起さしめる機構として、縦の方向に伸長する構造を発達したものと解すべきであらう。

潤葉樹のアテは引張強度に富むとされるが、之に就ても MÜNCH は其木繊維の膠質層が、縦張力によつて外層の螺旋の伸長と共に径が縮小するのを支え、強度を増すと説明している。併し此主たる理由は矢張り膠質層自体の引張強度が大なるによるのであらう。膠質層のミセル排列は細胞の長軸に略々平行すると見られるから、縦の方向の強度は大なる筈である。尤も縦の方向の圧

縮強度はアテが比重の大なる割に大きくないと言われるから、細胞膜の細微構造のみならず其化学組成に就ても考慮の必要があろう。只現在のところ之等の性質を考察するに資料が不十分である。

C. 曲げ強度

下側にアテを有する針葉樹の枝を下方に向つて曲げる場合と、上方に向つて曲げる場合を比較すると前者の方が強い抵抗を感じる。SONNTAG (1904) は Fichte の生の枝の径指頭大、長さ36cm のものの先端に 0.5kg の荷重を附し、生ずる撓みを比較したのに自然位にて 96mm、逆位にて 122mm に及んだと記載している。曲げ強度もアテを縦圧側においた方が大である。第 31 及び 32 表は筆者がアカマツ、ヒノキ等の枝に就て測定した例である。

第31表 側枝の曲げ試験

供試材クロマツ側枝、生にて皮附のまま、用う、スパン30cm、中央荷重とす。

年 軸	径 mm	荷重5kgの時のたわみ (cm)		比例限界 kg		破壊時の荷重 (kg)		比
		正 位	逆 位	正 位	逆 位	正 位	逆 位	
2	14.2	1.07	1.37	5.2	4.0	8.7	6.2	0.71
	14.3	1.11	1.33	6.0	3.0	10.0	7.0	0.70
	15.5	0.79	0.90	7.2	5.0	10.3	8.0	0.78
	16.0	0.91	1.41	3.5	3.0	10.0	7.0	0.70
3	17.0	0.51	0.63	12.0	6.3	13.0	9.2	0.71
	17.0	0.51	0.67	12.0	6.0	14.5	11.7	0.81

第32表 下側にアテを發達せる側枝の曲げ強度

供試材は皮附のまま、生材状態

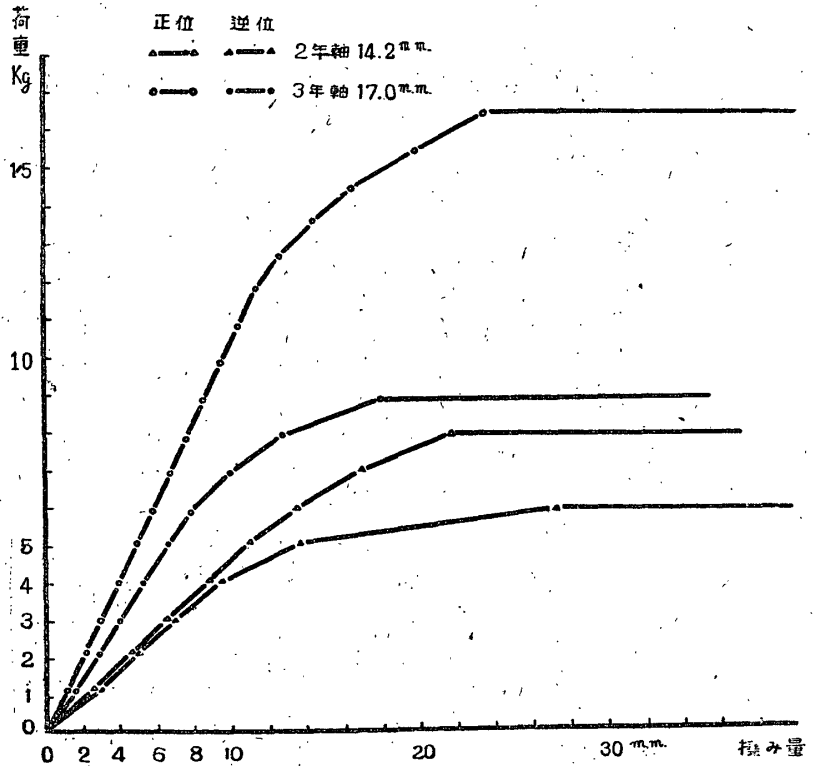
樹 種	状 態	中 央 部 径	偏心の程度	ス パ ン	破壊時の荷重
ヒ ノ キ	正 位	6.5×5.2 cm	25 : 40mm	76 cm	570 kg
	逆 位	"	"	"	350
	正 位	6.0×4.9	22 : 38	"	450
	逆 位	"	"	"	280
ア カ マ ツ	正 位	7.3×6.2	30 : 43	72	1670
	逆 位	"	"	"	1010

之等の結果は要するにアテの縦の方向の圧縮強度が大なるによると見られ、自然に於けるアテの形成側の配置は樹体を支持する上に有利であると言う事は出来る。併しアテと正常材を別々にして曲げ強度を求めると、生材の場合は常にアテの破壊係数が大であるが、氣乾材では傾向が一定しない。細胞膜質の量に対する比で見るとアテは常に弱い。第33表参照。



木材の縦の圧縮強度は一般に引張強度に比較して小さいから、曲げ破壊係数は主として圧縮強度に支配されると考えられているが、アテは前述の如く生材の場合圧縮強度が大なるため、曲げ破壊係数も大きいのであろう。併しアテの引張強度は著しく小さく、其値は圧縮強度に近接しているから、曲げ試験の際の破壊は正常材の如く縦圧側より起るとは限らず、両側略々同時に起る傾向がある。

第18図 アカマツ枝. 生の状態に於ける曲げ試験の撓み



第33表 曲 げ 強 度  
生 材

樹 種	強 度 (kg/cm <sup>2</sup> )			強度/乾物重量率			ヤング係数 (kg/cm <sup>2</sup> )			報 告 者
	アテ	正常材	比	アテ	正常材	比	アテ	正常材	比	
<i>Pseudotsuga Douglasii</i>	520	503	1.04	11.4	11.4	1.00	81.000	96.533	0.89	Trendelenburg
"	562	477	1.18	10.98	11.13	0.99	71.433	96.252	0.74	Pillow & Luxford
<i>Abies concolor</i>	532	425	1.25	11.32	12.27	0.92	69.183	82.963	0.83	
<i>Pinus taeda</i>	597	574	1.04	10.22	11.06	0.92	64.613	126.836	0.51	
" <i>ponderosa</i>	430	326	1.32	9.21	9.22	1.00	59.199	75.511	0.78	
<i>Sequoia sempervirens</i>	525	514	1.02	10.38	13.53	0.77	48.161	78.042	0.62	
氣 乾 材										
<i>Thujaopsis dolabrata</i>	937.6	733.6	1.28	17.53	17.96	0.98	78.689	77.607	1.02	森
<i>Picea excelsa</i>	468	574	0.81	12.4	16.0	0.78	84.700	112.300	0.75	Janka
<i>Pinus ponderosa</i>	632	825	0.77	9.6	14.5	0.66	69.960	105.000	0.67	Heck
<i>Pseudotsuga Douglasii</i>	789	829	0.95	15.2	15.1	1.00	85.300	129.933	0.66	Trendelenburg
"	879	910	0.97	16.68	19.84	0.84	83.526	117.133	0.71	Pillow & Luxford
<i>Abies concolor</i>	893	735	1.21	17.54	19.61	0.89	77.901	93.299	0.83	
<i>Pinus taeda</i>	982	1116	0.88	15.86	19.04	0.83	81.276	166.208	0.49	
" <i>ponderosa</i>	823	692	1.19	16.50	18.60	0.89	71.644	94.564	0.76	
<i>Sequoia sempervirens</i>	625	718	0.87	12.26	18.89	0.65	55.403	88.096	0.63	

試験片は Pillow 等は 1×1×16吋. スパン14吋の中央に荷重を加え、森は 2×1×20cm を用いて居る。

引張強度対圧縮強度の比は第34表に示す如く生材にて平均アテ 1.96 : 1, 正常材は 4.19 : 1, 即ちアテは正常材の比の半以下であるが, 氣乾材にてはアテ 1.42 : 1, 正常材 1.53 : 1となり, 両者の差は少くなる。之は乾燥に伴いアテの圧縮強度の増加する程度が著しく少ないからである。尙曲げ強度対圧縮強度の比は生材でも氣乾材でも常にアテの方に小である。第35表参照。

第34表 圧縮, 引張, 曲げ, 各強度の比 圧縮強度を1とした場合  
生 材

樹 種	ア テ			正 常 材			報 告 者
	圧縮強度	曲げ強度	引張強度	圧縮強度	曲げ強度	引張強度	
Pseudotsuga Douglasii	1	2.14	—	1	2.24	—	Trendelenburg
Pinus densiflora	1	—	1.02	1	—	4.95	尾 中
Pseudotsuga Douglasii	1	1.93	2.62	1	2.06	4.21	Pillow & Luxford
Abies concolor	1	2.12	—	1	2.17	—	
Pinus taeda	1	1.94	—	1	2.17	—	
"    ponderosa	1	1.86	2.93	1	1.98	5.02	
Sequoia sempervirens	1	1.62	1.28	1	1.86	2.57	
平 均	1	1.94	1.96	1	2.08	4.19	
氣 乾 材							
Picea excelsa	1	1.31	—	1	1.67	—	Janka
Pinus ponderosa	1	1.11	—	1	1.59	—	Heck
Pseudotsuga Douglasii	1	1.97	—	1	1.38	—	Trendelenburg
"    "	1	1.75	1.79	1	1.79	1.82	Pillow & Luxford
Abies concolor	1	2.15	—	1	2.02	—	
Pinus taeda	1	1.94	—	1	1.86	—	
"    ponderosa	1	1.96	—	1	1.89	—	
Sequoia sempervirens	1	1.22	1.04	1	1.43	1.24	
平 均	1	1.57	1.42	1	1.70	1.53	

第35表 乾燥に伴う強度の変化 氣乾材/生材の比にて示す。

樹 種	圧 縮 強 度		引 張 強 度		曲 げ 強 度	
	ア テ	正 常 材	ア テ	正 常 材	ア テ	正 常 材
Pseudotsuga Douglasii	1.72	2.20	1.18	0.95	1.56	1.91
Abies concolor	1.65	1.88	—	—	1.68	1.74
Pinus taeda	1.64	2.27	—	—	1.66	1.94
"    ponderosa	1.81	2.23	—	—	1.91	2.12
Sequoia sempervirens	1.56	1.81	1.28	0.86	1.19	1.40

数字は Pillow 及 Luxford の結果より筆者の算出したもの

曲げヤング係数は R. HARTIG が Fichte の生材にアテ 57.850kg/cm<sup>2</sup>, 正常材 107.500kg/cm<sup>2</sup> とし, 同程度の撓みを起すにアテは, 正常材の約半分の力にて足ると言う結果を得ている。又 PILLOW 及び LUXFORD の実験結果でも第33表右欄に示した様に氣乾状態の場合もアテの方が小なる傾向が見られる。而して乾燥に伴うヤング係数の増加の割合は, アテも正常材も略々同じである事が此表から算出される。第36表参照。

第36表 乾燥に伴う曲げヤング係数の変化

氣乾材/生材の比にて示す。

樹 種	ア テ	正 常 材	比	
Pseudotsuga Douglasii	1.18	1.22	0.97	Pillow 及 Luxford の結果より算出
Abies concolor	1.12	1.12	1.00	
Pinus taeda	1.26	1.31	0.96	
// ponderosa	1.21	1.25	0.97	
Sequoia sempervirens	1.15	1.13	1.02	

此様にアテのヤング係数は常に小であるから, 最大荷重の場合の撓みの大なる事は予想さるゝ通りであり, 又生材では曲げ破壊係数もアテに於て大であるから其時の仕事量の著しく大なるは言う迄もない。只氣乾状態になるとアテの方に曲げ破壊係数の小となるものがあり, 仕事量の差は少くなる。第37表は之を計算した例である。

潤葉樹に就ては此種の研究は未だ行われておらぬ。

第37表 曲げ試験最大荷重に於ける撓み及び仕事量

樹 種	最大荷重に於ける撓み (吋)						最大重量に於ける仕事量 (kg/cm <sup>2</sup> )					
	生 材			氣 乾 材			生 材			氣 乾 材		
	アテ	正常材	比	アテ	正常材	比	アテ	正常材	比	アテ	正常材	比
Pseudotsuga Douglasii	0.68	0.45	1.51	0.47	0.39	1.20	1.046	0.546	1.92	0.864	0.790	1.09
Abies concolor	0.70	0.40	1.75	0.63	0.40	1.58	1.014	0.454	2.23	1.282	0.681	1.88
Pinus taeda	1.07	0.46	2.33	0.65	0.31	2.10	1.723	0.745	2.31	1.491	0.766	1.95
// ponderosa	0.55	0.34	1.62	0.59	0.35	1.69	0.616	0.283	2.18	1.107	0.532	2.08
Sequoia sempervirens	0.46	0.41	1.12	0.39	0.29	1.35	0.484	0.529	0.92	0.458	0.425	1.08

報告者 Pillow & Luxford.

D. 靱性, 割裂強度及び硬度

靱性は衝撃に対する抵抗性である。之は森氏がアスナロの氣乾材に就て実験したところによるとアテの方に小とされているが, PILLOW 及び LUXFORD の実験では第38表に示す如く反対の結果を示すものもある。しかし膜質に就て見るとアテは常に小である。

第38表 韌性  
生材

樹種	強度 (kg/cm <sup>2</sup> )			強度/乾物重量率			報告者
	アテ	正常材	比	アテ	正常材	比	
<i>Pseudotsuga Douglasii</i>	12.81	13.01	0.98	0.25	0.30	0.83	Pillow & Luxford
<i>Abies concolor</i>	9.90	9.11	1.09	0.21	0.26	0.81	
<i>Pinus taeda</i>	13.79	17.68	0.78	0.24	0.34	0.71	
" <i>ponderosa</i>	12.19	7.08	1.72	0.26	0.20	1.30	
<i>Sequoia sempervirens</i>	4.89	5.84	0.84	0.10	0.15	0.67	

氣乾材

<i>Thujopsis dolabrata</i>	42.9	64.1	0.67	0.79	1.68	0.47	森 Pillow & Luxford
<i>Pseudotsuga Douglasii</i>	6.26	14.33	0.44	0.12	0.31	0.39	
<i>Abies concolor</i>	8.00	8.17	0.98	0.16	0.22	0.73	
<i>Pinus taeda</i>	7.64	12.18	0.63	0.12	0.21	0.57	
" <i>ponderosa</i>	7.06	5.57	1.27	0.14	0.15	0.93	
<i>Sequoia sempervirens</i>	4.53	4.54	1.00	0.09	0.15	0.75	

試験片は Pillow 等は 5/8 × 5/8 × 10 吋とし、スパン8吋、中央に荷重

割裂強度に就ては森氏の報告があるのみである。アテは解剖的に見て仮導管の間に細胞間隙が存在し、細胞膜の接合面は小であるが、細胞膜は厚い。併し其膜に放射螺旋状の裂目がある。之等が材の割裂性に如何に影響するかに就ては破壊部の組織学的研究に俟たねばならぬが、兎も角森氏の結果によると氣乾状態に於ける割裂強度に於てアテと正常材に殆んど差がない。第39表。

第39表 割裂強度

樹種	面	強度 (kg/cm <sup>2</sup> )			強度/乾物重量率			報告者
		アテ	正常材	比	アテ	正常材	比	
<i>Thujopsis dolabrata</i> 氣乾材	放射面	8.5	8.2	1.04	0.19	0.19	1.00	森
	切線面	10.5	10.8	0.97	0.25	0.27	0.93	

第40表 硬度

樹種	面	強度 (kg/cm <sup>2</sup> )			強度/乾物重量率			報告者
		アテ	正常材	比	アテ	正常材	比	
<i>Thujopsis dolabrata</i> 氣乾材	放射面	251.4	107.0	2.35	5.07	2.88	1.76	森
	切線面	242.2	124.8	1.94	4.88	3.35	1.46	
	横断面	344.8	200.4	1.69	6.95	5.39	1.29	
<i>Picea excelsa</i>	—	359.0	321.0	1.12	—	—	—	Trendelenburg

硬度に関してはアテの仮導管の細胞膜は著しく厚く、従て質が密であるから当然高いものと予想され、Nagelharte の名もある程であるが、実際の測定値に徴しても第40表に見る如く何れの断面に於ても常に高い。又之を細胞膜質の量に対する数に改算しても、アテの方の硬度が大である。おそらくアテの細胞膜が強く木化せるため膜そのものの硬度も大となつているのであろう。

潤葉樹のアテの木繊維細胞膜は膠質層の存在によつて著しく厚くなり、且導管の率にも乏しいから材質が密となるが、之等が硬度、割裂強度等に如何に影響するかは未だ研究がない。

以上述べ來つたアテの種々の強度は、研究者によつて供試材のとり方、試験の方法等を異にし、従て結果に可なり相違があるのは当然であるが、同一個体に於ても部分によつて少なからざる相違がある。例えば ROTHE が一本の Fichte の種々の高さに於けるアテの圧縮強度を比較したものとよると、最大 503 kg/cm<sup>2</sup>、最小 302 kg/cm<sup>2</sup> を示し、之に対する反対側の材は最大 287 kg/cm<sup>2</sup>、最小 224 kg/cm<sup>2</sup> の範囲内にある。之はアテの分化に種々の程度があり、供試材片に含まれるアテが、量的にも質的にも相違するによると思われる。PILLOW 及び LUXFORD は顯著なアテと中庸度のアテの強度を比較しているが、勿論中庸度のアテは正常材に近い値を示している。此様なアテの分化の程度による強度の差はむしろ樹種による相違よりも甚しいものがある。

## 摘 要

本報はアテの形成の原因とその構造並びに性質に関する従來の研究をとりまとめたものである。

アテは針葉樹に於ては特有の赤褐色を呈し、其仮導管の第二次肥厚膜が強く木化肥厚せる材であり、潤葉樹に於ては其木繊維細胞膜に全く木化しない、膠質層と呼ばれる層を有せる材を指す。故に構造上の特徴には両者に共通するところがなく、又形成側の關係に於てもおよそ両者は対蹠的である。只生理的に、夫が樹木の第二期肥大成長に入れる軸の屈地性或は傾動性等の成長運動を起す機構をなす点に於て一致している。

以下本文中に述べた主要なる点を摘記する。

### 1. アテの形成理論

1. アテを形成する場合、其部分の肥大成長は常に増加する。肥大成長が一側的に増加する現象を偏心成長と言うが、アテの形成が一側的に現れた場合此偏心成長を伴う。しかし偏心成長には必ずしもアテの形成を伴うとは限らないから両者を一括して取扱う事は出来ないが、アテの形成を伴う偏心成長は其原因に於て両者共通するものと考えて差支えない。

2. アテの形成を伴う偏心成長の起る主要なる場合として次の二つがある。一は軸が鉛直の位置より離れた場合であつて、重力の一側的作用に基くと考えられ、此場合の偏心成長を重力偏心性と呼ぶ。此際針葉樹では下側、潤葉樹では上側に成長が偏る。よつて前者を下側肥大性、後者を上側肥大性として區別する。一は枝にのみ見られるもので針葉樹では形態の上側即ち背側に、潤葉樹では形態的下側即ち腹側に成長が偏る。之は枝が生理的に背腹性の分化せるに基くと考えられ、此場合の偏心成長を背腹偏心性と称し、成長の偏る側によつて背側肥大性及び腹側肥大性

と区別する。

3. 前記何れの場合に於ても、之に伴つて生ずるアテは針葉樹にては縦の方向に伸長し、濶葉樹に於ては縦の方向に収縮して軸に屈曲を來さしめる。その重力偏心性に伴うものは幹及び枝に負屈地性を起すものであり、背腹偏心性に伴うものは枝に Epinastie を生ぜしめるものである。

4. 重力偏心性は軸の側に関せず、軸の傾斜によつて略々正弦法則に従い軸が水平に近附く程増加するが、水平より稍々上向せる位置に於て最大を示す。之は軸が下向するに従い成長が減少すると言う重力の調律性作用が関与するによると考えられる。此作用が軸の傾斜角の余弦に比例するものとする、両者の綜合結果としての重力偏心性  $G$  は次の式で示される。

$$G = g \cdot t \cdot \sin \alpha (1 + k \cdot \cos \alpha)$$

此処に於て  $g$  は重力の刺戟、 $t$  は其刺戟時間、 $\alpha$  は軸の傾斜角、 $k$  は場合によつて定められる係数である。

5. 背腹偏心性は軸の傾斜に関係なく、背腹側によつて一定せるものであるが、軸が下向するに従て多少減少する傾向がある。之も重力の調律性作用が影響するによると考えられる。

6. 枝には背腹偏心性と重力偏心性が合成して偏心成長が現れ、両者の合力によつて成長の偏る程度と方向が定まる。従て背腹相称面が鉛直をなさぬ場合には肥大成長は横側に偏る。又背腹側が正しく上下側に一致する時は、両偏心性の成長の偏る方向が逆であるから、互に相殺するが、重力偏心性の最大なる位置に於ては常に背腹偏心性より大であるから、水平より上向及び下向の或位置に於てのみ両者均衡し、偏心成長が現れない。此位置は枝の斜向屈地性休止位に相当し、大体軸が鉛直上向に対し  $50-60^\circ$  傾けるところと、 $150-160^\circ$  に傾下せるところに見出される。此二つの休止位が水平に対して相称をなさぬのは、前述の如く重力の調律性作用によるものと考えられる。背腹偏心性に対する此作用が軸の傾斜角の正弦と余弦の和に比例するものとするれば、枝の偏心性  $p_1$  は次の様な式で示される。

$$P_1 = g \cdot t \cdot \sin \alpha (1 + k \cdot \cos \alpha) - E \{1 + K (\cos \alpha + \sin \alpha)\}$$

但し  $E$  は背腹偏心性、 $K$  は係数とする。

7. 草本植物に就て屈地性は上下両側のオーキシンの不等分布に基く上下側の伸長成長の差によつて起ると言われているが、樹木に於てはアテの伸長又は収縮によつて屈地性が起る。此処にアテの形成に対してもオーキシンの作用が問題となる。

8. 植物に対し種々の生理作用に於てオーキシンと同様の効果をあらわす事が知られているヘテロオーキシン其他の成長ホルモン剤を、針葉樹の幹の表皮下に塗布する時は、其側に局所的にアテを生じ、軸を屈曲する事が認められる。

6. 樹木には形成層附近に成長素が見出されるが、針葉樹のアテを形成せる側に於ける其量は反対側に比較して常に多い。之等によつてアテの形成はオーキシン又はそれに類似の成長素の作用によつて起ると考える事が出来る。併しアテの形成を起すべき成長素の濃度限界等になお不明の点があり、又濶葉樹のアテに就ては更に研究を要する。

10. アテの形成は局所的であつて、或部分に於けるアテの形成は其部分のその時の傾斜状態に

よる。故に既往の年輪に現れたアテの形成側と其程度は当時の其部分の傾斜の方向と程度を示すものであるが、樹形は変化するものであるから、現在の形によつて内部に於けるアテの形成状態を定める事は出来ない。

II. アテの解剖的構造

1. 針葉樹のアテが正常材と比較して解剖的に相違する点を一括すると次表の如くなる。

第41表 針葉樹のアテの解剖的性質

組織	項目	アテの示す傾向
仮導管	細胞横断面の形及び排列	形は円味を帯び、隣接細胞との間に細胞間隙を生じ排列は不齊である。
	細胞径	放射方向の径は春材部にて正常材より稍々小、秋材部にて稍々大、従て春秋材の差が少い。切線方向の径は稍々小なるか或は殆んど差がない。
	細胞の長さ	×短く正常材の凡そ60~90%
	細胞膜の厚さ	春材にて正常材の凡そ2倍、秋材にては大差なきか或は稍々小、従て春秋材の差が少い。
	細胞膜の構造	第二次胞厚膜にて放射方向に多数の裂目が現れ、夫は縦断面にて左旋約45°傾斜せる螺旋状に走る。ミセルの排列も之に従う。膜に内層の分化なく、只イチキ、カヤ、イヌガヤ属の螺旋状肥厚は存在するが数を減ずる。
木柔組織	孔紋	分布数小、春材部にて重孔紋の孔紋室の径小、内開口はレンズ状輸出し、第二次肥厚膜の裂目に沿うて開く。
		×細胞の形の差はないが、横断面上の分布密度小、但し1年輪当の数は大。
樹脂道	垂直	×横断面に対する分布数稍々少、但し1年輪に対する数は大。
	水平	×一般的に相違する傾向がない。
射出線	細胞の形	切線断面にて細胞稍々円味を帯ぶ。射出仮導管細胞膜には異常がない。
	細胞高 分布数	×稍々高し。 ×稍々少し。

此中×印を附した点は必ずしもアテの部分とは限らず、一般に成長が良好であつて年輪幅の廣くなつたところにも現れる傾向であるから、アテの特徴とする事は出来ない。アテの最も顯著な異常は仮導管の形と膜層の構造にある。

2. 針葉樹のアテを生ずる側は皮層、韌皮及び周皮の発達も良好であるが、厚角及び厚膜組織の発達は不良である。

3. 濶葉樹のアテが正常材と比較して解剖的に相違する点を概括すると次表の如くなる。

第42表 潤葉樹のアテの解剖的性質

組 織	項 目	ア テ の 示 す 傾 向
木纖維	細胞横断面の形及び 排列	放射方向に扁平な矩形となり排列正しくなる傾向があるが、 かゝる傾向のない樹種もある。
	細胞径	放射方向の径は小なる傾向がある。
	細胞の長さ	常に長い。
	細胞膜の厚さ	常に厚い。
	細胞膜の構造	膠質層に於てミセルは細胞の軸に平行に近く排列する。
	孔 紋	分布少、重孔紋を有するものにて孔紋室の径小、内開口は 縦の方向に長く線状に伸びる。
導 管		細胞の径は小、分布密度は小。
木柔組織		分布密度小。
射出線		一定の傾向なし。

此中特に顯著なる異常は木纖維細胞膜に膠質層が現れる事である。

4. 膠質層の出現に際し第二次肥厚膜の内部に向つて漸次木化度の少くなるもの(第Ⅰ型)、第二次肥厚膜全体が厚い膠質層となるもの(第Ⅱ型)、第二次肥厚膜の内層として独立した膠質層を生ずるもの(第Ⅲ型)の区別があり、之は大體科、属によつて一定せる様である。その中第Ⅰ型は例が少く、第Ⅱ型は纖維状仮導管に伴い、第Ⅲ型は眞正木纖維に伴つて現れる傾向がある。何れにせよ用材とされる喬木性潤葉樹には此膠質層を生ずるものが多い。

5. 潤葉樹には膠質層を生ぜずして、之を生ずるものと同じ傾向の偏心成長を行うものがある。此場合成長の偏る側に材は木纖維が多少長くなるが、他に殆んど異常を認めない。Aquifoliaceae, Sabiaceae, Rhodraceae 等その例である。

6. 潤葉樹には又膠質層を生ぜずして、全く偏心成長を起さないもの、或は針葉樹と同様の傾向の偏心成長をなすものがある。前者には Saxilagaceae, Caprifoliaceae 等灌木性のものが多く、後者は本邦産中 Buxus, Gardenia にその例を見るのみである。かゝる膠質層を生じないものは第二期肥大成長に入れる軸にて屈地性が現れない。

7. 潤葉樹の偏心成長に伴い、成長の偏る側は一般に材のみならず、皮層、韌皮の成長もよく、厚膜或は厚角組織を発達する傾向があるが、特に Tiliaceae, Malvaceae, Daphnaceae 等に於て韌皮の層は著しく厚くなり、韌皮纖維が多くなる。尙此樹種にて成長の偏る側は木纖維の径が大となり、細胞膜は薄いのが認められる。

### Ⅱ. アテの理化学的性質

#### A. 針葉樹のアテ

1. 顯微化学的にアテの仮導管の第二次肥厚膜の木化が特に著しいのが注意される。分析結果に就て見てもリグニンが多くセルロースに乏しい。其他アセトン、アルコール、エーテル抽出物が少く、ヘミセルロース多少に富む事等が認められる。



2. 針葉樹のアテは特徴的に赤褐色を呈するが、その色は仮導管の第二次肥厚膜が着色せるによる。而して此色はベンゼン、アルコール、水等にて除かれぬ。

3. 容積重は生材に於ても、氣乾状態に於ても常に大である。春材仮導管細胞膜が厚く、従て膜質の量が多いのによつて見られるが、膜の眞比重の測定を缺く。

4. 含水率は生材にて小、氣乾状態にて稍々大である。前者は特に辺材にて孔隙率に關係される。

5. 一度乾燥せるものの吸濕率は低くなる。但し單位容積に対する吸濕量は多い。前者はアテの細胞膜の吸濕能力の少い事を示し、後者は膜質量の多いのに基くものであろう。

6. 切線断面に於ける組織の水分透過性は小であり、通導水の上昇も劣る。

7. 乾燥に伴う收縮率は縦の方向に於て正常材の約10倍、切線及放射方向に於て約半分である。吸濕に伴う膨脹率も略々同様の關係を示す。アテの仮導管細胞は相互の接着が少く、且膜に多くの裂線があるため、膜層の運動が比較的容易に起るによるかと考えられる。

8. 生材内に於てアテは縦の方向に圧迫する応力を有し、組織を分離すると伸長する。之は第二次肥厚膜が強く木化するから其際の膨潤に基くものかと考えられる。

9. 圧縮強度は縦の方向に於て生材の場合は大、氣乾状態の場合は傾向一定しない。比圧縮強度は常に小である。故に此細胞膜の構造は圧縮に対する抵抗上特に有利なものとは言えない。

10. 引張強度は生材に於ても氣乾材に於ても常に小である。破壊部は短く横断されているが、鏡下に見ると細胞膜にある螺旋狀の裂線に沿うものが多いから、之が主たる弱点となるものと考えられる。併し乾燥に伴い此強度は増加する傾向がある。

11. 曲げ破壊係数は生材にて大、氣乾材にて傾向一定でない。之は略々圧縮強度に支配されるものと思われるが、圧縮強度と引張強度との差は正常材に比べて著しくない。

12. 圧縮、引張及び曲げヤング係数は何れも著しく小さい。従て変形を起し易いが、之は細胞膜が多数の螺旋狀の褶に分離せるによるものであろう。

13. 靱性に関する試験結果は一致していないが膜質の強は常に劣る。

14. 割裂強度は氣乾材にて殆んど差がない。

15. 硬度は各断面に於て常に大である。之には主として細胞膜の厚い事が關係するであらう。

#### B. 潤葉樹のアテ

1. 顯微化学反応に於て膠質層は塩化亞鉛沃度に対し紫色を呈し、フロログルシン塩酸及びモイレの反応を示さない。又70%の硫酸にて切線方向に著しく伸長して後全く分解するのが認められる。故にリグゼンを含まないと言う事は出来るが、その主たる成分が從來言われている様にヘミセルロースであるか、或は $\alpha$ -セルロースに多少のペクチン及びゴム質物を混するものであるか分析の結果を缺く。

2. 膠質層の存在する部分は横断面にて多少濃色に見えるが、粗な切断面では白く光るものがある。

3. 膠質層の発達と共に木纖維の細胞が厚くなり、且導管の率に乏しいから孔隙量に乏しく容

積重は大である。

4. 含水率は生材にて大であるが、乾燥し易く、乾燥したものは吸湿性が乏しいとされている。
5. 切線面に於ける水分の透過性は小である。
6. 乾燥に伴う収縮は縦及び切線方向に於て著しく大である。
7. 生材内に於て縦の方向に牽引する応力を有し、組織を分離すると収縮する。
8. 圧縮強度は比重の大なるに比較して小であるとされている。
9. 引張強度は著しく大である。
10. 以上の如き性質は膠質層の存在に基く点が多いと思われるが、此関係を考察するには資料が未だ不足である。

## Résumé

Compression- and tension-wood are both specially differentiated wood which appears with eccentric growth under certain conditions. Owing to their peculiarities in technical properties, serious defects will be seen in timber and lumber. Present article deals with the causes of formation, the anatomical structure, chemical and physical properties of these abnormal woods.

### I. The causes of formation.

1. The stems, orthotropic shoots, of trees tend to grow eccentrically when their axes are inclined from vertical position, and the greater growth is seen on the lower side in conifers, whereas in dicotyledons on the upper side. Such a phenomenon is generally known as geotrophy.

2. In addition to geotrophy, the lateral branches, or plagiotropic shoots of trees show another tendency of heterotrophy, in which the growth increases towards the dorsal side in conifers and towards the ventral side in dicotyledons. The writer, therefore, uses the term "dorsiventraltropy" for this phenomenon. In the actual growth of lateral branches, eccentricity appears in the direction of the resultant of these two motives.

3. While geotrophy varies with the amount of inclination of axis, dorsiventraltropy is almost the same in any position. When the axis of branches is inclined about  $50\sim 60^\circ$  and  $150\sim 160^\circ$  from upright direction, the growth will not be eccentric, as two motives will be then in balance.

4. Associated with the above-mentioned eccentric growth are special differentiations in tissue structure, particularly on the side of greater growth. The wood formed in such cases is called compression-wood in conifers or tension-wood in dicotyledons respectively. The former possesses longitudinal compressive stress and the latter shows longitudinal tension; so, when they develop on one side of shoots the axis will gradually become to bend.

From these facts it may be said that the geotropic movement in trees occurs through geotrophy and epinastic bending takes place by dorsiventraltropy.

5. Besides the tropic stimuli, gravity acts on growth rate as "geotonus", that is to say, geotropic reaction is toned with the product of cosine and sine of inclination angle; then geotrophy may be shown as the following formula :

$$G = g \cdot t \cdot \sin a (1 + k \cdot \cos a)$$

where  $g$  = geotropic stimuli,

$t$  = period of stimulation,

$a$  = angle of inclination of axis,

$k$  = constant.

The same effect must be considered also for dorsiventraltropy. Assuming that

this tonic action goes with the sum of cosine and sine of inclination angle, the eccentricity of branches will be expressed by the following approximate equation :

$$Pl = g \cdot t \cdot \sin\alpha (1 + k \cdot \cos\alpha) - E [1 + (K \cdot \cos\alpha + \sin\alpha)]$$

where  $E$  = dorsiventraltropy,

$K$  = constant.

6. Geotropic bendings in herbaceous plants are generally recognized as the result of unequal growth on the two sides, which is due to unequal distribution of auxin. In trees, the geotropic movements of shoots occur also through unequal growth, geotrophy; so, it may be supposed that geotrophy arises likewise from one sided accumulation of auxin. For seeking this relation the writer examined with indole-3-acetic acid or naphthalene acetic acid and he found that the typical compression wood develops after treatment of these hormonal reagents under epidermis of stems in pine, spruce and other conifers, and that the axis become to bend when it applied on one side of shoots.

Moreover, on the auxin determinations in leaning coniferous stems the greater amounts of auxin are detected in the lower side. From these results it may be concluded that the direct cause of compression wood formation is the accumulation of auxin, and the physiological meaning of such wood lies in acting the growth movement of tree growth.

## II. Anatomical structure.

A. The structural differences of compression wood compared with normal wood are as follows :

1. Tracheids. Cells are circular in cross section, and they show more or less irregular arrangement occurring intercellular spaces between them.

Cell wall is very thick through spring and summer wood, but lacks inner layer, which is markedly defined in normal wood. Many radial cracks appear in secondary wall, and they seem like left handed spiral striations in longitudinal section. The slitlike extended aperture of bordered pits inclines along these cracks indicating greater slope of micellar arrangement. Cells are smaller in length and often crook wavyly.

2. Wood parenchyma and vertical resin ducts. The development of these tissues is generally less, but no variation is found in cellular structure.

3. Rays. Number in tangential section is smaller in many cases, the cell height more or less higher.

4. Bark corresponding to compression wood is also broader, but sclerenchymatous elements are rather scarce.

B. Tension-wood shows following differences in comparison with normal wood :

1. Wood fibres. In certain genera, cells are squarish, flattened and arranged regularly in radial direction. Length of cells is always longer, and cell wall is very

thick with gelatinous layer. Slitlike pits run parallel to the cell axis indicating the parallel arrangement of micelle.

2. Vessels. Both number and diameter in cross section markedly less.
3. Wood parenchyma. Smaller in cell number in cross section through each types of arrangement.
4. Rays. No tendency of variation is found in general.
5. Bark on the side of tension-wood is usually thicker than that of opposite side, and it contains more sclerenchymatous elements.

C. Among the above mentioned, the presence of gelatinous layer is the most distinctive feature of tension-wood. This layer is divided into three types according to its development. The first type, which consists of only innermost part of secondary wall, occurs in few genera, such as *Pyrus*, *Cornus*, *Stewartia*, *Palura*, *Ligustrum*, *Osmanthus*. The second type, which occupies the whole secondary wall, appears chiefly in the fibre-tracheids of *Myricaceae*, *Trochodendraceae*, *Eupteleaceae*, *Cercidiphyllaceae*, *Hamamelidaceae*, *Cornaceae*, *Oleaceae*, *Ternstroemiaceae*. The third type, which forms special inner layer in secondary wall, is seen in libriform fibres of *Salicaceae*, *Ulmaceae*, *Moraceae*, *Lauraceae*, *Fabaceae*, *Anacardiaceae*, *Aceraceae*, *Rhamnaceae*, *Flacourtiaceae*, *Lythraceae*, *Araliaceae* etc.

In some genera of dicotyledons, such as *meliosma*, *Ilex*, *Euonymus*, *Rhododendron*, *Pieris*, *Xolisma*, the eccentric growth occurs without the formation of gelatinous layer, and in *Tiliaceae*, *Malvaceae* *Sterculiaceae*, *Daphnaceae* the another type of tissue modification is found in such case.

Some species, which mostly belong to shrub do not show any symptom of heterotrophy, and in a few instances, such as *Gardenia*, *Buxus*, the eccentric growth appears with the tendency of geohypotrophy like conifers.

### III. Chemical composition:

1. On the staining reactions it is observed that the tracheid wall of compression wood is strongly lignified through all layers. Analytical data also indicate higher percentage of lignin and relatively lower percentage of cellulose. Differences in another components are less prominent.

2. Tension-wood may be estimated to have comparatively lower content of lignin according to the presence of gelatinous layer, but further analysis in detail of this wood is not yet attempted.

### IV. Physical properties.

A. The physical properties of compression-wood differ from those of normal wood in the following points :

1. Colour deep brownish red, which characterizes this wood in external appearance.

2. Volume weight usually heavier in both fresh and dried condition.
  3. Water content in green condition lower, in air dried condition somewhat higher.
  4. Hygroscopic power generally less, but the quantities of hygroscopic water in unit volume larger.
  5. Permeability of water in radial direction less, and velocity of transpiration stream slower.
  6. Longitudinal shrinkage extraordinary high, but transversal shrinkage, in both radial and tangential, only about half as much as that of normal wood.
  7. In green state this wood shows longitudinal compressive stress, while normal wood possesses tensile stress.
  8. Compressive strength greater in green condition, but not always in air dried condition. When the strength values are adjusted for differences in the volume weight often smaller in green condition.
  9. Tensile strength smaller in both green and air dried condition.
  10. Strength for static bending greater, parallel with the compressive strength. The ratio of compression strength to tensile strength always smaller.
  11. Modulus of elasticity ever very small.
  12. Cleavability almost the same.
  13. Toughness smaller in most cases, but hardness usually larger in all directions.
- B. Tension-wood possesses the following tendencies compared with normal wood:
1. Colour darker, but in some species the saw cut surface shows a peculiar silky lustre.
  2. Water content smaller in green condition, easily dried and poor in hygroscopic water.
  3. Water permeability in radial direction smaller.
  4. Longitudinal and tangential shrinkage larger.
  5. Abnormally strong tensile stress is found in green condition.
  6. Compressive strength smaller in proportion to its volume weight.
  7. Tensile strength excessively greater.

At any rate, the cause of such peculiar properties in compression- and tension-wood may mostly be referable to the abnormal cell wall structure of their tacheids or wood fibres, and the peculiarity in properties varies with the grade of structural modifications in wide range.

## 引 用 文 献

- 1) 麻生 誠 (1927) 林業試験彙報, 23.
- 2) Bailey, I. W. and T. Kerr (1935) J. Arnold Arboretum. 16 : 273.
- 3) ——— and ——— (1937) " " 18 : 261.
- 4) ——— and R. V. Mary (1937A) " " 18 : 196.
- 5) ——— and ——— (1937B) " " 18 : 185.
- 6) Böning, K. (1925) Mitt. deutsch. Dendro. Gesell. : 86.
- 7) Bücher, H. (1906) Jahrb. wiss. Bot. 43 : 271.
- 8) Burns, G. P. (1920) Vermont Agr. Exp. Stat. Bull. 219.
- 9) Büning, E. (1939) 'Die Physiologie des Wachstums und der Bewegungen.' Berlin.
- 10) Ciesler, A. (1896) Cbl. f. d. gesamt Forstwesen. 22 : 149.
- 11) Clark, G. L. (1930) Ind. Eng. chem. 22 : 474.
- 12) Clarke, S. H. (1930) Forestry. 4 : 93.
- 13) ——— (1936) " 10 : 133.
- 14) Dadswell, H. F. and E. F. Hawley (1929) J. Ind. Eng. Chem. 21 : 973.
- 15) ——— and D. T. Ellis (1940) J. Council Sci. Ind. Res. 13 : 44.
- 16) De Bary, A. (1884) 'Comparative Anatomy of the Vegetative Organs of the Phanerogams and Ferns,' Eng. Edi:Oxford.
- 17) Detlefsen, E. (1881) Bot. Cbl. 8 : 258. Ref.
- 18) Engler, A. (1918) 'Tropismen und exzentrisches Dickenwachstum der Bäume,' Zürich.
- 19) " (1924) Mitt. schweiz. Centralanst. forst. Versuchsw. 13 : 225.
- 20) Frey-Wyssling, A. (1935) 'Die stoffausscheidung der höheren Pflanzen,' Berlin.
- 21) ——— (1937) Ber. 51. Generalversamm. deutsch. Bot. Gesell. in Darmstadt, : 119.
- 22) ——— (1941) Holz. 6 : 349.
- 23) Harlow, Wm. M. (1932) Am. J. Bot. 19 : 729.
- 24) Hartig, R. (1896) Forstl. Naturwiss. Zeitschrift. 5 : 96.
- 25) ——— (1899) Cbl. f. d. gesamt Forstwesen. 25 : 291.
- 26) ——— (1901) 'Holzuntersuchungen alles und neues,' Berlin.
- 27) Hartmann, F. (1932) Forstwiss. Cbl. 54 : 497.
- 28) ——— (1933) " 55 : 314.
- 29) Heric, G. (1915) Bot. Cbl. 135 : 162. Ref.
- 30) Högglund, E. und S. Ljungren (1933) Papier Fabrikant. Festheft. : 35.
- 31) Jaccard, P. (1917) Viert. Jahrschr. d. naturforsch. Gesell. in Zürich. 63 : 303.
- 32) ——— und A. Frey. (1928A) Jahrb. wiss. Bot. 68 : 844.
- 33) ——— und ——— (1928B) " " 69 : 549.
- 34) ——— und A. Frey-Wyssling. (1934) " " 79 : 655.
- 35) ——— (1938) Ber. schweiz. Bot. Gesell. 48 : 491.
- 36) Jacobs, M. R. (1938) Commonwealth Forestbureau. Bull. 22.
- 37) ——— (1939) " " " 24.
- 38) 楠木 徳二 (1930) 林雜. 12 : 69.
- 39) 兼次 忠藏 (1930) 青森林友, 182 : 21.
- 40) Kerr, T. and I. W. Bailey. (1934) J. Arnold Arboretum. 15 : 327.
- 41) Kny, L. (1882) 'Über das Dickenwachstum des Holzkörpers,' Berlin.
- 42) Kollmann, F. (1935) Zeitschr. f. Forst. u. Jagdwesen. 67 : 75.

- 43) Lämmermayr, L. (1901) Bot. Cbl. 89 : 151. Ref.
- 44) 鉤 俊 一。 函 師 祐 明。 熊 谷 秀 治 (1928) 林 雜。 10 : 262.
- 45) Metzger, K. (1908) Naturwiss. Zeitschr. f. Forst u. Landw. 6 : 249.
- 46) Misra, P. (1939) Forestry. 13 : 118.
- 47) 光 本 政 光 (1945) 木 材 の 膨 潤 及 び 収 縮 の 顯 微 鏡 的 觀 察。 (未 公 表)
- 48) 森 三 郎 (1933) 農 林 省 林 試 報 告。 33 : 35.
- 49) Münch, E. (1927) 'Bau und Leben unserer Waldbäume'. 3. Aufl. Jena.
- 50) ——— (1937) Silva. 25 : 338.
- 51) ——— (1938) Flora. 32 : 357.
- 52) ——— (1939) " . 34 : 45.
- 53) 小 原 龜 太 郎 (1939A) 人 絹 界。 7 : 1.
- 54) ——— (1939B) " . 7 : 635.
- 55) 尾 中 文 彦 (1935) 日 本 林 学 会 誌。 17 : 680.
- 56) ——— (1937A) 京 大 演 習 林 報 告。 10.
- 57) ——— (1937B) 日 本 林 学 会 誌。 19 : 639.
- 58) ——— (1939A) 日 本 林 学 会 昭 和 14 年 春 季 大 会 講 演 集 : 578.
- 59) ——— (1939B) 木 材 保 存。 7 : 4.
- 60) ——— (1940) 日 本 林 学 会 誌。 22 : 573.
- 61) ——— (1942) " . 24 : 1.
- 62) Pillow, M. Y. (1931) J. For. 29 : 575.
- 63) ——— and M. W. Brey (1935) Paper trade J. 101 : 31.
- 64) ——— and R. F. Luxford (1937) U. S. Dept. Agr. Tech. Bull. 546.
- 65) ——— (1941) J. For. 39 : 389.
- 66) Potter, M. C. (1904) Ann. Bot. 18 : 121.
- 67) Rawitscher, F. (1923) Zeitschr. f. Bot. 15 : 65.
- 68) ——— (1932) 'Der Geotropismus der Pflanzen,' Jena.
- 69) Rendle, B. J. (1937) Tropical wood. 52 : 11.
- 70) Renvall, A. (1923) Acta Fore. Fennica. 26 : 1.
- 71) Rothe, G. (1930) Tharandt. Forst. Jahrbuch. 81 : 204.
- 72) Schorger, A. W. (1926) 'Chemistry of Cellulose and Wood.' New York.
- 73) Schwarz, F. (1899) 'Physiologische Untersuchungen über Dickenwachstum und Holzqualität von Pinus silvestris,' Berlin.
- 74) Snow, R. (1932) New Phytol. 32 : 288.
- 75) Söding, H. (1937) Jahrb. wiss. Bot. 84 : 639.
- 76) Solereder, H. (1903) 'Systematic anatomy of the dicotyledons,' Eng. Ed. Vol. 2.
- 77) Sonntag, P. (1904) Jahrb. wiss. Bot. 39 : 71.
- 78) ——— (1909) Flora. 99 : 203.
- 79) Trendelenburg, R. (1932) Allg. Forst u. Jagdzeit. 181 : 1.
- 80) ——— (1940) Holz. 3 : 209.
- 81) Troll, W. (1939) 'Vergleichende Morphologie der höheren Pflanz,' II. Teil. Berlin.
- 82) Ursprung, A. (1906) Biol. Cbl. 26 : 257.
- 83) 渡 辺 治 人 (1942) 日 本 林 学 会 誌。 24 : 135.
- 84) Wiesner, J. (1894) Bot. Cbl. 47 : 172. Ref.
- 85) ——— (1896) " . 67 : 338. Ref.
- 86) 柳 田 國 男 (1932) 山 林。 596 : 68.
- 87) 矢 沢 龜 吉 (1944) 岐 阜 農 專 学 術 報 告。 52.