HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ヤチダモの傾斜樹幹における材部の組織構造：Ⅰ．人為的屈曲と道管の形態・分布
Author(s)	芳村, 了一; YOSHIMURA, Ryoichi; 石田, 茂雄 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 30(1), 163-182
Issue Date	1973-07
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20921
Type	departmental bulletin paper
File Information	30(1)_P163-182.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

ヤチダモの傾斜樹幹における材部の組織構造

I. 人為的屈曲と道管の形態・分布

芳村了一* 石田茂雄*

Anatomical structure of wood in a leanig stem of Yachi-damo, *Fraxinus mandshurica*, var. *japonica*

I. Morphology of vessels and their distribution within the annual ring formed after artificial bending

By

Ryoichi YOSHIMURA and Shigeo ISHIDA

目　次

I. 序　言 …… 163
II. 研究方法 …… 164
1. 供試木とその処理 …… 165
2. 道管についての調査 …… 166
III. 研究結果と考察 …… 167
1. 年輪幅と引張あて材の分布 …… 167
2. 道管の形態 …… 171
1) 道管径の年輪内変動 …… 171
2) 道管径の季節的変化 …… 172
3. 道管の個数と面積 …… 174
1) 道管の個数と頻度 …… 174
2) 道管の面積と面積率 …… 175
IV. 結　言 …… 177
V. 要　約 …… 179
参考文献 …… 180
Summary …… 181

I. 序　言

傾斜樹幹に形成されるあて材に対する関心は古くからきわめて高く，したがって多くの研究が行なわれている。それらは，1) あて材の構造的異常，それに由来する材質の異常性，2) 傾

* 北海道大学農学部林産学科　木材理学教室
Laboratory of Wood Physics, Department of Forest Products, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

斜刺激に対する樹木の木部形成における応答の解明などの観点から進められてきたが，一方，3) これらの研究をとおして正常状態での木部形成，正常材の構造・性質についての理解を対比的に深めようとする観点からもこの問題の研究が進められている。

傾斜状態で形成された材部についての研究の初期の頃，たとえば R. HARTIG[3] など（さらに後には MÜNCH[7] など）は，傾斜の上・下両側の材部に等しく注意の目を向けていた。研究の進展とともに，異常材は針葉樹では下側，広葉樹では上側に集中形成されることが明らかにされ，その後はこの異常材部の形態・構造・物性・成分などに関する豊富な情報が蓄積された。そして今日の段階では，針葉樹，広葉樹ともに，あて材部の繊維状細胞に構造的異常が集中発現されることが明らかにされている。

あて材の反対側に形成される材部，すなわち針葉樹では傾斜の上側，広葉樹では下側の材部は，これを正常材とみなすことができるのであろうか。筆者らの今までの観察の範囲でも，針葉樹，広葉樹ともに反対側の年輪幅はあて材側に比べて狭いのみならず，傾斜直前の比較可能な年輪に比べても狭くなることはほぼ明らかである。あて材部についても繊維状細胞に異常が顕著に集中することは明らかであるとしても，一体として生理的に機能すべき他の要素細胞に及ぼす影響はどのようであるのか。反対側材部の年輪幅が狭くなるとすれば，その年輪構造はどのように変化するのか。解明されるべき多くの問題があるように思われる。

筆者らは以上のような観点から，ここでは，構造分化のより進んだ広葉樹の，自然状態で正常に生育していた樹幹を選び，これを人為的に屈曲して傾斜させ[11,13]，その状態で形成される年輪のすべての部分の組織・構造を屈曲直前のそれと詳細に比較検討するためにこの研究に着手した。屈曲による応力の影響を無視できるのかどうか，なお問題のあるところであるが，筆者らの実験の結果[15]もあり，ここでは考えないことにする。なお，枝は傾斜屈地性があるとされ[12]その取扱いが単純でないので樹幹のみを対象とした。

ここには，まず道管についての調査結果を報告する。傾斜樹幹における道管の径についてはすでに若干の報告[1,2,4,6,8,9,10]があり，また道管数，道管面積などについても報告[1,2,4,5,6,8,9,1013]されている。対象樹種の相違もあり，報告内容相互に不一致の点がすくなくない。

この研究の実施に際し，北海道大学農学部中川地方演習林（林長藤原滉一郎助教授）の格別な御協力を得，また野幌国有林での実験については札幌営林署の御配慮を得た。記して感謝の意を表わす次第である。

II. 研究方法

樹幹が傾斜した状態で形成された材部を直立状態で形成されたものと，同一個体内で比較するために，直立・通直な樹幹を人為的に屈曲した。供試樹種としては樹幹に直立・通直性，その横断面に真円性のあるヤチダモ（*Fraxinus mandshurica* RUPR. var. *japonica* MAXIM.）を選択した。

1. 供試木とその処理

1971年5月に北海道大学中川地方演習林186林班で6本の供試木を選定した。これらの胸高直径は5.0～5.8 cm，樹高7～8 m，樹齢15～17年であった。

同年5月12日にこれら6本の供試木を人為的に屈曲した。このうち2本（1号木，2号木）は同年11月9日に，他の4本は6月30日（3号木），7月21日（4号木），8月18日（5号木），9月8日（6号木）にそれぞれ伐採した。

これら供試木の地上高4 m付近に針金を巻きつけ，それを牽引して地上の杭に固定し，樹幹を屈曲した。牽引点付近での樹幹の傾斜は25°前後にした。樹幹屈曲の状態をPhoto 1に示す（1号木・矢印）。

Photo 1. Bending treatment of the test tree (No. 1).

2. 道管についての調査

伐採された供試樹幹に傾斜の上側，下側をマークした後，年輪の組織構造を調査するための円板を原則として地上高1m，2m，3mおよび4m（牽引点の直上）で採取した。つぎに傾斜の上・下両側から屈曲前・後両年に形成された2年輪を含む小材片を切り取り，それから横断面切片を作成して，顕微鏡下で道管その他の要素について調査した。

その際，1・2号供試木については道管の径およびその年輪内変動，道管の個数とその頻度（単位面積あたりの個数），道管の面積とその面積率（単位面積あたりの道管面積）の測定をおこない，途中伐採の3～6号供試木については，それぞれの伐採時期に形成・成熟した道管の径について調査した。

道管の測定調査はFig. 1に示すように，傾斜の上・下両側での屈曲の前・後両年輪において，屈曲前年までの材部の中心からの15°の角度をなす扇形部に含まれる全道管についておこなった。

道管の年輪内での位置は，Fig. 2に模式的に示されるように，道管の内方点（p）と年輪界（内方年輪界）との距離（l）をもって示すとともに，年輪幅の異なった場合にその相対的な位置を比較するためFig. 2に示すように年輪幅を10等分した年輪内区分番号をもってその位置を示し，論議した。

道管径は半径径（r）と接線径（t）にわけて測定された。複合道管は道管数調査の際にはそれ

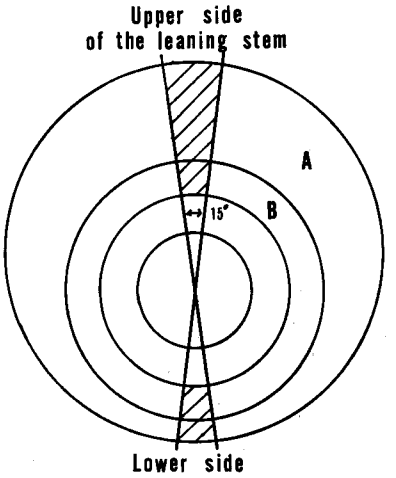


Fig. 1. Position where the measurement was carried out.

A: The annual ring formed after bending

B: The annual ring formed before bending

Wood subjected to the measurement is drawn with oblique lines.

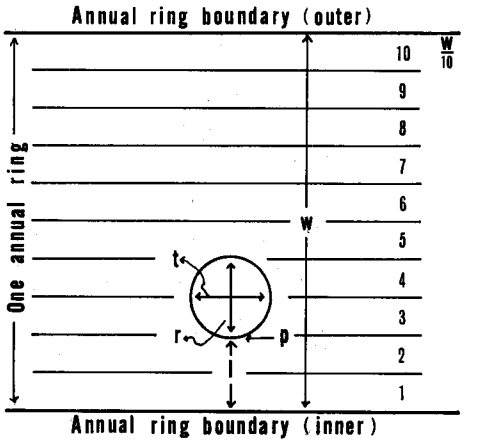


Fig. 2. Items measured about an individual vessel.

r: Radial diameter, t: Tangential diameter, l: Distance from the inner annual ring boundary to the inner point (p) of a vessel

W: width of annual ring

1, 2, 3, … 10: Divisions number within the annual ring

を構成する各道管を単位として数えられた。道管の頻度および面積率はそれぞれ，調査対象部における道管個数，道管面積を対象部の面積で除した値である。

道管径の季節的変化を調べる場合にはそれぞれの伐採時期において最も新しく形成されていた道管を傾斜の上・下両側で比較するため，それぞれの調査対象材部の最も外側にある成熟した孤立道管5個について調査した。

なお，このほかに札幌近郊野幌国有林で設定した供試木についてもあわせて考察した。

III. 研究結果と考察

1. 年輪幅と引張あて材の分布

はじめに11月伐採の1・2号木の，各測定地上高での傾斜の程度，傾斜の上・下両側における年輪幅の値を Table 1 に示す。

屈曲後の年輪幅は，傾斜の上側は下側に比べ，両供試木のすべての地上高において広かった。

屈曲前・後の年輪幅を比較すると，まず傾斜の上側では1号木のすべての地上高において屈曲後が屈曲前よりも広く，2号木の 1.10 m, 2.00 m でも同様であったが，3.00 m ではこのよ

Table 1. Degree of leaning at various heights of the artificially bent stem, and the width of the annual ring formed before and after bending.
I: Before bending　II: After bending

Test tree	Height above the ground (m)	Degree of leaning (°)	Annual ring formed	Width of annual ring (mm)	
				Upper side	Lower side
No. 1	1.00	9	I	2.1	2.1
			II	2.7	0.8
	2.00	17	I	1.7	2.1
			II	3.2	0.7
	2.95	24	I	1.6	1.8
			II	3.1	0.4
	4.05	25	I	1.9	2.0
			II	3.5	0.6
No. 2	1.10	9	I	1.6	3.1
			II	3.1	1.5
	2.00	18	I	1.5	2.4
			II	2.8	0.5
	3.00	28	I	1.6	1.7
			II	1.6	0.4
	4.00	30	I	1.8	2.1
			II	1.3	0.4

(1)

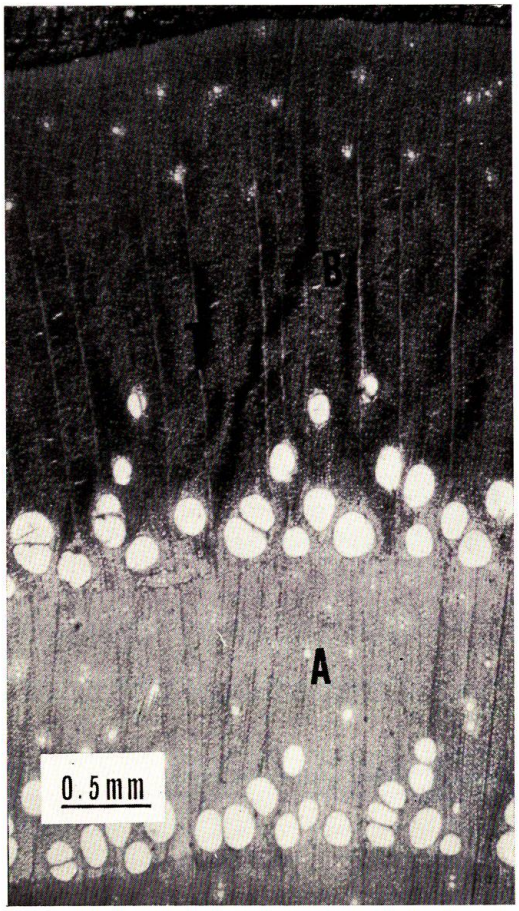
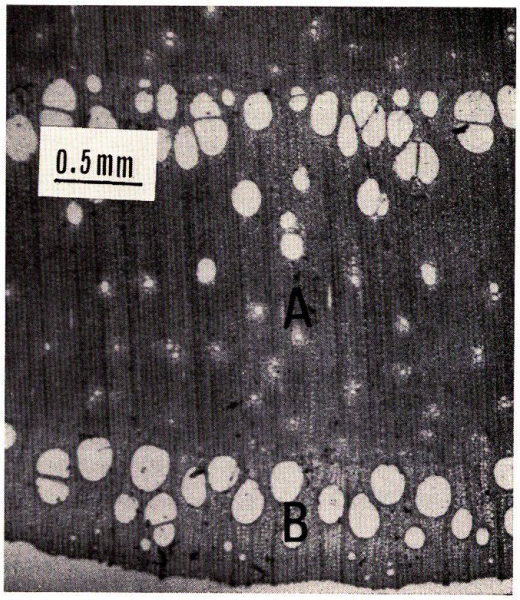


Photo 2. The structure of wood tissue formed before and after bending (2 m height of No.1 tree)

A: Before bending
B: After bending
T: Tension wood

(1) The upper side
(2) The lower side

(2)



うにならず4.00 m では，例外的に屈曲後の年輪幅が狭かった。

一方下側では，屈曲後の年輪幅が1・2号木のすべての地上高において屈曲前よりも狭くなっていた。

Photo 2 は横断面切片をクロラゾールブラックEの1%メチルセロソルブ溶液で染色（引張あて材部が黒く染色）した1号木の地上高2.00 m の傾斜の上側 [2-(1)]，下側 [2-(2)] の屈曲の前・後両年輪を含む組織の写真で，濃くみえるところが引張あて材部であるが引張あて材はこのように屈曲後の傾斜の上側でのみ形成されていた。

しかし外方の年輪界付近では引張あて材の形成が減退していた。同様の事実は SCURFIELD・WARDROP (1963)[14] および KOCH *et al.* (1968)[6] によっても報告されている。引張あて材部は，さらに隣接材部へ，前に筆者らが報告 (1971)[16] したような広がりをみせていた。

次に途中伐採の供試木の傾斜の上・下両側において，それぞれの伐採時期までに形成された材部の幅を Table 2 に示す。前述のように完成された年輪において屈曲後の年輪幅が傾斜の上側では下側よりも広いということは，形成層活動がこの側で増大していることを示している。しかしその点については，分裂頻度と分裂期間を分離して考えなければならない。

Table 2 に示されているように，屈曲後に形成された材部の幅は個体差があるとはいえ，傾斜の上側では伐採時期が進むにつれてその幅が順次，増大しているのに反して下側ではほぼ7月以降にはほとんど増大がみられない傾向がある。この事実は各伐採時期の間の形成層の分裂活動が傾斜の上側では下側よりも活発化していたことを示している。木部形成経過の細かい点についてはさらに検討し別の機会に報告したい。

Table 2. Comparison of the width of growth increment formed after bending until the tree was felled, on the upper and lower sides.

I: Upper side　II: Lower side

Height above the ground (m)	Side	Width of growth increment (mm) in the tree felled on					
		June 30	July 21	Aug. 18	Sept. 8	Nov. 9	
						No. 1	No. 2
1.0	I	0.8	2.5	3.0	3.7	2.7	3.1
	II	0.6	0.8	1.5	0.8	0.8	1.5
2.0	I	1.5	2.9	4.3	3.7	3.2	2.8
	II	0.4	0.6	0.6	0.6	0.7	0.5
3.0	I	1.5	3.0	3.1	3.1	3.1	1.6
	II	0.4	0.7	0.4	0.4	0.4	0.4
4.0	I		2.5	2.3	3.0	3.4	1.3
	II		0.6	0.4	0.4	0.6	0.4

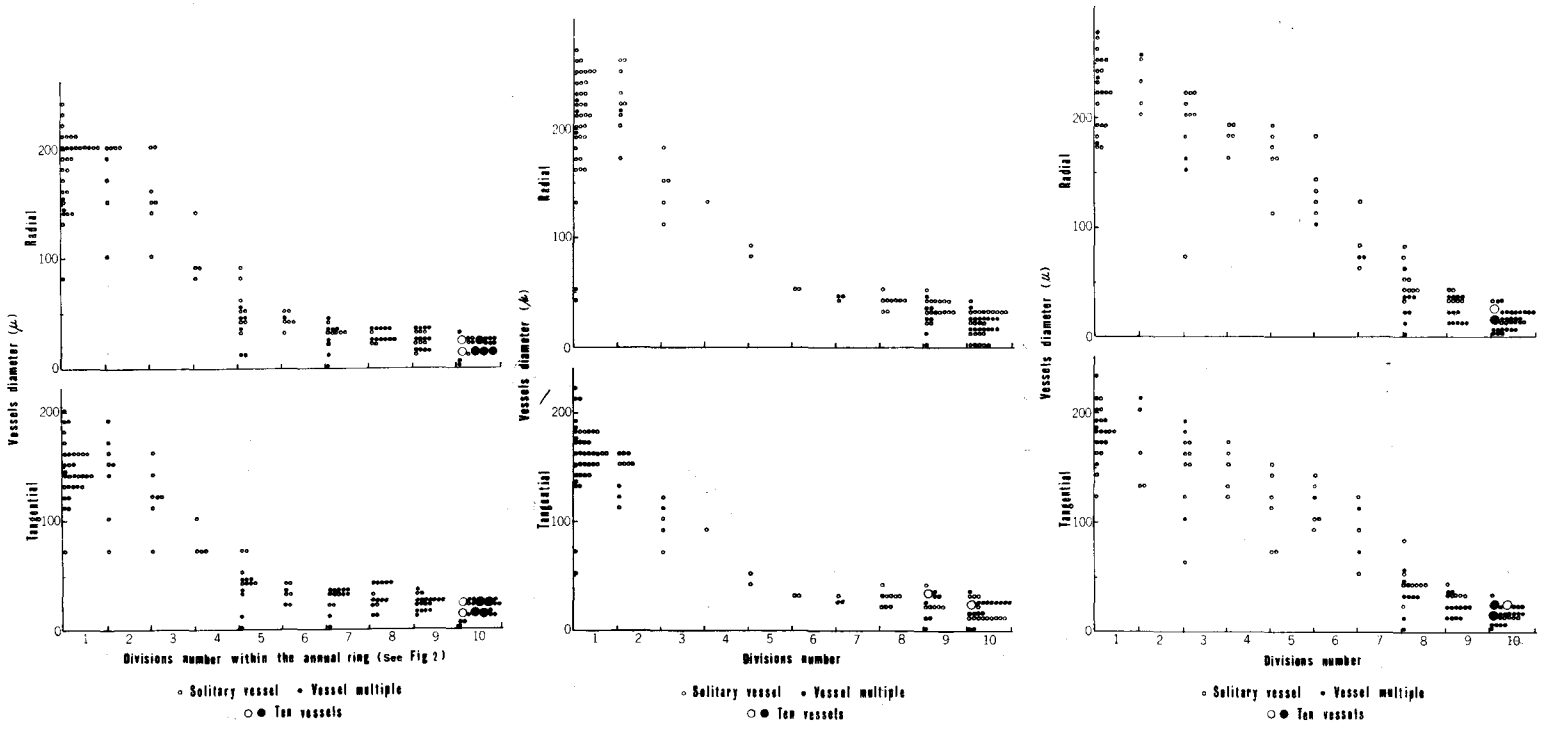


Fig. 3. Distribution of vessels diameter within the annual ring (2 m height of No. 1 tree).

(1) Before bending (2) The upper side after bending

(3) The lower side after bending

2. 道管の形態

1) 道管径の年輪内変動

Fig. 3-(1), (2), (3) はそれぞれ Photo 2 で示した1号木地上高2mにおける (1) 屈曲前の年輪，(2) 屈曲後の年輪（傾斜の上側），(3) 同（下側）での道管径の変化傾向を，年輪内区分番号を横軸にとって示したものである。この傾向は屈曲前の年輪では両側とも同様であったので一方の側のみを示してある。

これによると屈曲後の年輪では傾斜の上側 3-(2) 下側 3-(3) とも，年輪の内側にある道管の径は大きく外側では小さく，屈曲前の年輪すなわち正常年輪と同様であった。したがってヤチダモの樹幹を屈曲しても環孔材としての特質は失われない。このような道管径の変化傾向を詳しく知るために区間ごとに孤立道管の平均半径径，平均接線径を求め，それぞれの年輪内変動を調査し，これを Fig. 4 に示す。この際複合道管は形が不斉のため除外した。

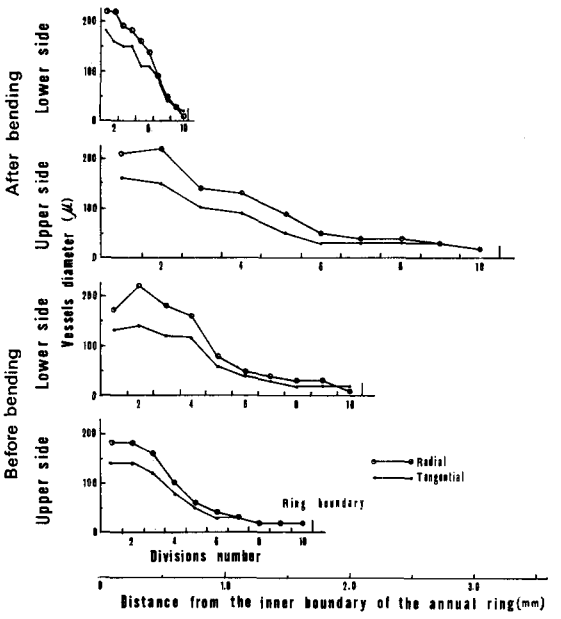


Fig. 4. vessels diameter variation within the annual ring formed before and after bending on the upper and lower sides (2 m height of No. 1 tree).

Fig. 4 は Photo 2 のデータを年輪内での実距離 (l) を横軸にとって示したものである。道管の半径径は年輪界（内方）近くの区間では接線径よりも大きく，その形は縦長であったが，外側になるにつれて両者の差は小さくなっていた。このように半径径のほうが変動が著しく，またその変動の傾向は接線径とほぼ同様であるので，道管径の年輪内での変動の傾向は半径径のそれをもって示すことにする。

屈曲後の傾斜の上側部では屈曲前と同様，道管径が減少域から安定域に移る傾向が認められたが，下側では年輪界近くまで減少し，安定域を欠いていた。

Fig. 5-(1), (2) はそれぞれ1号木，2号木の4地上高について傾斜の上・下両側での屈曲の前・後両年輪における道管径の年輪内変動を示したものである。

1号木地上高 2.00 m での屈曲前の年輪，屈曲後の傾斜の上側年輪で認められた道管径が安定する傾向は，一番低い地上高 (1 m) では1・2号木ともさらに明確となっており，この地上高では屈曲後の下側でも同様の傾向が認められた。これらの年輪において，道管の径が安定域に入る付近のその半径径は屈曲前・後とも約 40 μ であり，接線径も同様であった。この道管径の安定する傾向は高い地上高ほど不明確になっていた。これは特に形成層年齢との関係によるも

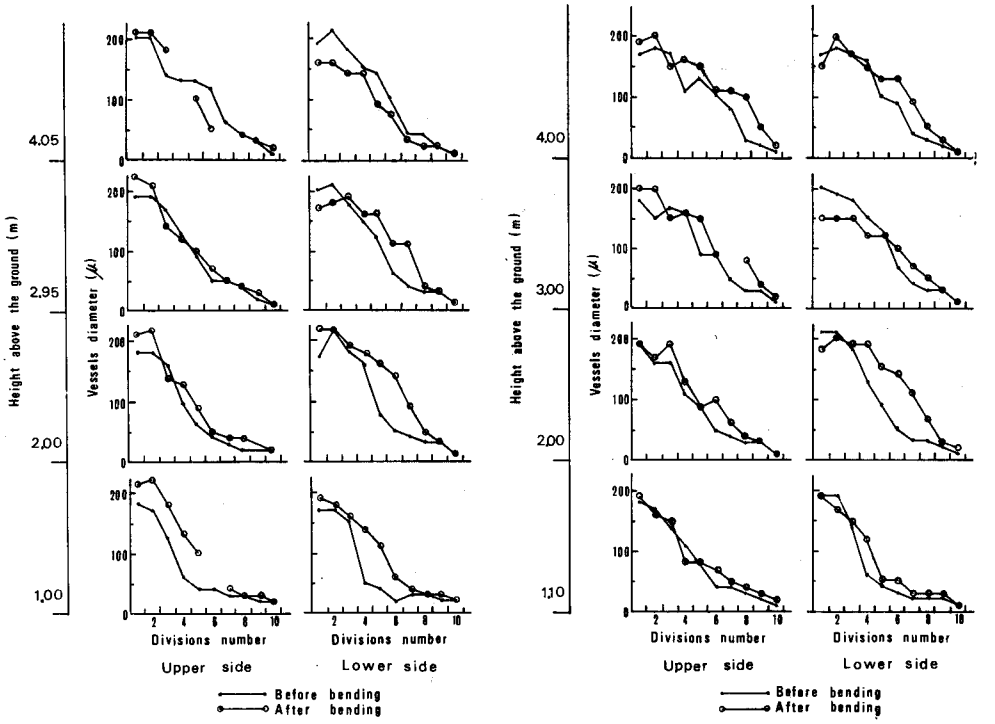


Fig. 5. Vessels diameter (radial) variation within the annual ring on the upper and lower sides formed before and after bending.

(1) Tree No. 1　(2) Tree No. 2

のと思われる。またこの傾向は屈曲後の年輪では屈曲前におけるよりも不明確であり，その程度の屈曲後の上・下両側の比較に関しては個体差の関係もあり明確に把握できなかった。

このように道管は年輪内に占める位置によってその径が変化しているが，それぞれの大きさの道管がいつ頃成熟するのかを途中伐採の供試木で調査した結果を次にのべる。

2) 道管径の季節的変化

傾斜している樹幹における道管径について尾中 (1949)[10] は，環孔材では大道管，小道管ともその径が傾斜の上側では下側よりも小さいと報告している。また散孔材においても一般に同様な傾向がみられると述べている。

HERIC (1915)[4] は *Tamarix gallica* では道管は上側で小さいが，散孔材である *Salix Fragilis*, また *Olea europaca* では反対に傾斜の上側で大きいと報告している。また OLLINMAA は散孔材である *Betula pubescens*, *Betula verrucosa* (1956)[8], *Populus tremula*, *Alnus incana* (1961)[9] では傾斜の上側と下側の間には道管径の差は認められないと報告している。

このように従来の傾斜樹幹での道管径についての報告は必ずしも一致していない。

この研究でのヤチダモのような環孔材の場合には道管の径はその形成時期によってかなり

Table 3. Comparison of the diameter of vessels on the upper and lower sides formed after bending in various months.
I: Upper side II: Lower side R: Radial T: Tangential

Height above the ground (m)	Side	Diameter of vessels (μ) in the tree felled on									
		June 30		July 21		Aug. 18		Sept. 8		Nov. 9	
		R	T	R	T	R	T	R	T	R	T
1.0	I	220	170	50	40	30	30	20	20	10	10
	II	180	160	40	40	30	30	10	10	10	10
2.0	I	190	130	80	60	40	30	10	10	10	10
	II	150	150	80	90	40	40	10	20	20	20
3.0	I	240	160	70	60	40	40	10	20	10	10
	II	140	120	50	60	40	40	10	20	10	10
4.0	I			60	50	30	40	10	20	10	10
	II			80	80	40	40	10	20	10	10

変化しているので，同時に形成された傾斜の上側と下側の道管の間で，その比較を行なうのが合理的であろう。

そこで本研究では前述した計画にしたがい生長期中途の立木をも伐採した。それぞれの時期において成熟した道管を比較するため，上・下両側の，それぞれ最も外側にある孤立道管についてその道管径の季節的変化を調査した。これを Table 3 および Fig. 6 に示す。

道管径の季節的変化については，6月30日に伐採した供試木で調査した道管は，半径径が上・下両側とも150μ以上の大きい道管であり，その形は縦長であった。7月21日の場合にはその径が100μ以下とかなり小さくなっており，また丸みを増した。それ以後伐採の場合には40μ以下の小さい道管となっていた。

それぞれの伐採時期における道管の径の上・下両側での比較については，6月30日の場合の道管の径が上側では下側よりも大きく特に半径径でそうであった。しかし時期が進むにつれて道管径の上・下両側での差は半径径，接線径とも小さくなっていた。

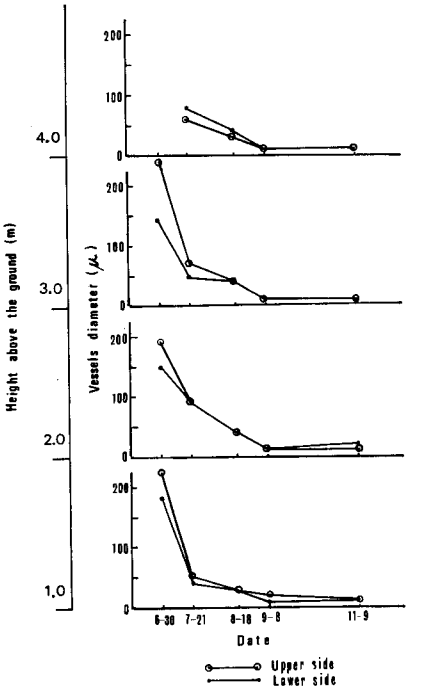


Fig. 6. Seasonal variation of vessels diameter (radial) after bending on the upper and lower sides.

前節で述べたように道管径の年輪内変動において，屈曲の前・後両年輪で道管径の安定化する傾向が著しかった低い地上高でその安定域に入る付近にある道管の半径径は約40μであった。この大ささの道管は，屈曲した樹幹における一番低い地上高（1.0 m）では傾斜の上・下

両側とも，7月21日にみられ，それより高い地上高では8月18日にみられた。

3. 道管の個数と面積

ヤチダモの屈曲した樹幹で形成される年輪の幅はその上側では屈曲前よりも広く，下側では屈曲前より狭くなることは前述のとおりである。一方木部における通導組織である道管の形成および通導機能が樹幹の屈曲によってどう変化しているのか把握する必要がある。しかし道管の個数・面積についての従来の報告ではその調査が傾斜した樹幹の上側と下側との比較という形でなされており，直立した状態で形成される正常年輪のそれとの比較はほとんどなされていない。

したがって本研究では，道管形成の尺度として道管の個数，その通導機能の尺度としてその面積に着目し，傾斜の上・下両側での屈曲の前・後両年輪におけるそれらについて調査した。

1) 道管の個数と頻度

Table 4 は屈曲の前・後両年輪における傾斜の上・下両側での道管の個数および頻度を年輪幅と関連させながら示したものである。屈曲後の道管個数は1・2号木とも傾斜の上側が下側

Table 4. Comparison of the total number of vessels and the number of vessels per unit area of wood, in the annual ring before and after bending.
I: Before bending　II: After bending

Test tree	Height above the ground (m)	Annual ring formed	Width of annual ring (mm)		Total number of vessels		Number of vessels per mm² of wood	
			Upper side	Lower side	Upper side	Lower side	Upper side	Lower side
No. 1	1.00	I	2.1	2.1	265	240	17.4	15.8
		II	2.7	0.8	176	137	8.3	22.5
	2.00	I	1.7	2.1	193	248	18.7	19.2
		II	3.2	0.7	132	146	6.1	32.4
	2.95	I	1.6	1.8	184	199	20.0	19.1
		II	3.1	0.4	134	122	6.8	50.8
	4.05	I	1.9	2.0	171	187	19.4	20.1
		II	3.5	0.6	142	107	7.6	35.7
No. 2	1.10	I	1.6	3.1	205	391	19.2	18.3
		II	3.1	1.5	153	192	6.7	17.0
	2.00	I	1.5	2.4	162	270	19.3	19.6
		II	2.8	0.5	157	106	9.1	34.2
	3.00	I	1.6	1.7	199	183	25.5	22.0
		II	1.6	0.4	131	94	15.6	44.8
	4.00	I	1.8	2.1	169	207	21.4	22.3
		II	1.3	0.4	141	116	22.7	61.1

よりも多かった。しかし道管の頻度は1・2号木のすべての地上高において，傾斜の上側では小さかったが，これは従来の報告[6,8,9,10]と一致している。

屈曲後の道管個数を屈曲前と比べると，傾斜の上・下両側とも，1・2号木のすべての地上高において，屈曲後は減少していた。

これに対し，道管の頻度は傾斜の上側では1・2号木のほとんどの地上高において，屈曲後は屈曲前よりも減少していたが，傾斜の下側ではほとんどの地上高で増大していた。すなわち，屈曲後の年輪幅が屈曲前よりも広くなっていた傾斜の上側ではこのように屈曲後の木部形成の増大に対し，道管の形成は減退を示している。また屈曲後の年輪幅が狭くなっていた下側では道管の形成も減退するがそれは木部形成の減退ほど著しくないといえる。

2) 道管の面積と面積率

Table 5は屈曲の前・後両年輪における傾斜の上・下両側での道管の総面積と年輪材部面積に対する比率すなわち面積率を年輪幅と関連させながら示したものである。

屈曲後の道管の面積は，傾斜の上側は下側に比べ，1・2号木のほとんどの地上高で広かっ

Table 5. Comparison of the total area of vessels and the area of vessels per unit area of wood, in the annual ring before and after bending.
I: Before bending　II: After bending

Test tree	Height above the ground (m)	Annual ring formed	Width of annual ring (mm)		Area of vessels (mm^2)		Area of vessels per mm^2 of wood (mm^2)	
			Upper side	Lower side	Upper side	Lower sied	Upper side	Lower side
No. 1	1.00	I	2.1	2.1	1.29	1.10	8.5	7.2
		II	2.7	0.8	1.61	1.14	7.6	18.7
	2.00	I	1.7	2.1	1.17	1.75	11.4	13.6
		II	3.2	0.7	1.44	1.50	6.7	33.3
	2.95	I	1.6	1.8	1.37	1.33	14.9	12.8
		II	3.1	0.4	1.58	0.97	8.0	40.4
	4.05	I	1.9	2.0	1.46	1.30	16.6	14.0
		II	3.5	0.6	1.59	0.80	8.5	26.7
No. 2	1.10	I	1.6	3.1	1.19	1.74	11.1	8.1
		II	3.1	1.5	1.28	1.50	5.6	13.3
	2.00	I	1.5	2.4	1.18	1.70	14.0	12.3
		II	2.8	0.5	1.50	0.96	8.7	31.0
	3.00	I	1.6	1.7	1.11	1.27	14.2	15.3
		II	1.6	0.4	1.22	0.68	14.5	32.4
	4.00	I	1.8	2.1	1.01	1.13	12.8	12.2
		II	1.3	0.4	1.18	0.81	19.0	42.6

た。しかしその面積率は上側ではすべての地上高において，低かった。これは従来の報告[4,8,9]と一致している。

屈曲後の道管面積は傾斜の上側では1·2号木のすべての地上高で屈曲前よりも増大し，下側ではほとんどの地上高で減少していた。しかしその面積率は傾斜の上側では屈曲後はほとんどの地上高で減少しており，下側ではすべての地上高で増大していた。すなわち傾斜の上側では形成される道管の面積は木部面積が増大するほど増大しておらず，下側では木部面積の減退ほどそれは減退していない。

したがってヤチダモの樹幹を屈曲すると，傾斜の上・下両側とも道管の形成が木部形成の量的変化に対応せず，その通導機能も対応していないといえる。

前述のように樹幹の屈曲によって年輪幅が広くなっていた傾斜の上側では道管の頻度，面積率とも減少しており，年輪幅が狭くなっていた下側では両者とも増大していた。しかし直立樹幹においてもヤチダモのように環孔材の場合，年輪幅の広い年輪は道管の面積率は一般に低く，逆に狭い年輪では高い。

したがって屈曲した樹幹での傾斜の上側の広い年輪，下側の狭い年輪における道管の個数および面積が，直立した樹幹におけるそれぞれ等しい幅の正常年輪とはたして相違しているのか，すなわち道管の個数および面積が傾斜樹幹に特有な値をもつものであるのかを調査し，この結果を Table 6 に示す。

Table 6. Comparison of the number and area of vessels within the annual ring in a bent stem, with that of the normal ring corresponding to the ring in the bent stem in its width.

Annual ring selected from	Number and area of vessels					
	Upper side			Lower side		
	Ring width (mm)	Number	Area (mm^2)	Ring width (mm)	Number	Area (mm^2)
Bent stem	3.1	153	1.28	0.4	91	0.77
Normal stem (control)	3.1	391	1.74	0.4	94	0.71

この屈曲後の傾斜の上側の年輪は2号木の地上高1.10 m のものであり，正常年輪は同一個体である2号木から選ばれた。この屈曲後の年輪は正常年輪と年輪幅が等しいにもかかわらず，道管の個数は1/2以下になっており，その総面積もかなり小さくなっていた。道管の分布は，Photo 2 の年輪と同様に，その中央部付近で非常に少ないのが特徴的であった。

一方，傾斜の下側に形成された年輪も相等条件（等しい年輪幅）下の他の個体の年輪と比較された。すなわちこの年輪は札幌近郊野幌国有林内で人為的に屈曲した樹幹から採取し，比較のための正常年輪は同じ所の他の供試木から採取した。年輪幅はともに0.4 mm であった。屈曲樹幹の年輪は道管の個数，面積とも正常年輪とほとんど差がみられなかった。

しかし Photo 3-(2) に示す屈曲樹幹における年輪は Photo 3-(1) に示す正常年輪に対して木繊維の配列がよいのが特徴的であった。また筆者らが前に報告[15] したように夏材の厚膜な木繊維がすくない傾向もあった。

このように屈曲した状態で形成された年輪において，引張あて材の形成される傾斜の上側では道管の個数は，直立状態における等しい幅の正常年輪と比べて著しく少なくなっており，その面積も小さくなっていた。したがって引張あて材の形成は道管の形成の低下を伴うと考えられる。一方傾斜の下側では，等しい幅の正常年輪との相違は道管の個数および面積についてはほとんど認められず，むしろ木繊維の配列がよくなるなど強固組織においてその相違があらわれているように思われる。

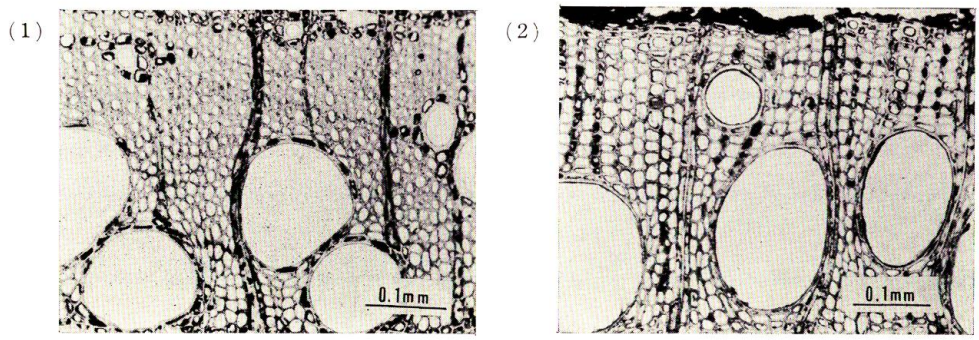


Photo 3. The structure of wood tissue in annual ring from a bent stem on the lower side and that in normal ring correspondig to the ring in the bent stem in its width.
(1) Control (formed in normal condition)
(2) Annual ring formed after bending

IV. 結　　言

筆者らは広葉樹における傾斜刺激の木部形成に及ぼす影響を把握するために，ヤチダモの小径樹幹を人為的に屈曲して屈曲後形成された材部の組織形態と屈曲前のそれとの比較研究をおこなっている。本報では特に道管の形態について報告した。

傾斜刺激と年輪幅との関係については，筆者らが前に報告[15] したのと同様に，ヤチダモの樹幹を屈曲すると傾斜の上側では年輪幅が増大し，下側では反対に減退していた。また上側に引張あて材が形成されるのは周知のとおりである。

途中伐採の供試木では前述したように各伐採時期の間の形成層の分裂活動が傾斜の上側では下側よりも活発化していた。木部形成経過の細かい点についてはさらに検討し別の機会に報告したい。

道管径の年輪内変動において低い地上高の屈曲の前・後両年輪で認められた道管径が減少域から安定域に移る傾向は，地上高が高くなるほど不明確になっていた。これは特に形成層年

齢との関係によるものと思われる。

屈曲樹幹における道管の径については，6月30日伐採の大きな道管（半径径が上・下両側とも150μ以上）の径が傾斜の上側では下側に比べて大きく特に半径径でそうであった。上・下両側における道管径の比較についての従来の報告は必ずしも一致しておらず，尾中[10]は前述のように環孔材の大道管は上側が下側よりも小さいと報告しているが本研究の結果はそれに反している。道管拡大の一例として，新生された道管がその外側の分化中の未木化の部分を押しのけて拡大する場合を考えれば，形成属活動の活発化していた上側で特に半径径が大きいということはありうると思われる。この道管径の上・下両側での差は時期が進み道管が小さくなるにつれて縮少していた。

屈曲後の道管の個数，面積は傾斜の上側が下側よりも大であった。しかしその頻度および面積率は上側で小であったが，これは従来の報告[4,6,8,9,10]と一致している。

本研究では道管の個数および面積について，このように屈曲後の年輪ばかりでなく，傾斜の上・下両側における屈曲前・後の変化をも調査した。さらにそのような屈曲前・後の変化が単に年輪幅変化によるに過ぎないのか，あるいは屈曲樹幹では道管の個数および面積が特有な値をもつものであるのかについても，傾斜の上側の広い年輪および下側の狭い年輪におけるその個数，面積を等しい年輪幅の直立樹幹の正常年輪のそれと比較することにより考察を試みた。

まず屈曲後の道管の頻度および面積率がともに傾斜の上側では屈曲前よりも減少し，下側では増大していたことから，ヤチダモの樹幹を屈曲すると傾斜の上・下両側とも道管の形成が木部形成の量的変化に対応せず，その通導機能も対応していないと考えられる。

また傾斜の上側，下側の年輪における道管の個数および面積をそれと等しい年輪幅の正常年輪におけるものと比較すると，傾斜の上側では個数が著しく少なく面積も小さくなっていたが，下側では正常年輪とほとんど相違がみられなかった。しかし傾斜の下側では木繊維の配列が正常年輪に比べてよくなっていた。これらの事実から傾斜の上側でみられた道管形成の減退は屈曲樹幹特有な性質として認められるが，下側でみられた屈曲前・後の道管における相違は単に年輪幅変化によるものとして理解される。

したがってヤチダモにおいて樹幹屈曲が木部形成に及ぼす影響として，傾斜の上側では引張あて材が形成されるばかりではなくそれに伴って道管の形成が低下するが，下側では樹幹屈曲特有な影響は道管にはみられずむしろ木繊維にそれがあらわれているように思われる。

このように傾斜刺激は上側では強固組織ばかりでなく通導組織にも影響を及ぼしている。一方下側では上側ほど顕著でないにしても傾斜刺激の影響が通導組織よりも強固組織にあらわれていることが認められた。本報告では傾斜刺激と道管形成との関係は一生長期全体について考察したが，その季節別の論議は今後の課題である。

筆者らは現在傾斜刺激と木部形成との関係を理解するために，樹幹を人為的に屈曲して屈

曲後形成された材部の組織構造の屈曲前のそれに対する変化の実態把握という見地からその研究をおこなっている。またその目的のためにはそれと同時に，樹木に対する化学的処理の実験によって傾斜刺激によって生じるその生理的変化に直接に接近することも必要であろう。

V. 要　　約

1. 広葉樹における傾斜刺激の木部形成に及ぼす影響を把握するため，ヤチダモ (*Fraxinus mandshurica* RUPR. var. *japonica* MAXIM) の小径樹幹を人為的に屈曲 (Photo 1) して屈曲後形成された材部の組織形態，特に道管の形態を屈曲前のそれと比較した。

道管の調査は屈曲の前・後両年輪の傾斜の上・下両側において屈曲前の材部の中心からの15° の角度をなす扇形部 (Fig. 1) に含まれる全道管についておこなった。

また供試木を生長期中途でも伐採し，屈曲後の調査対象材部の最も外側にあるその時点での最も新しい成熟道管の形態をも調査した。

2. 屈曲後の年輪幅は傾斜の上側では下側よりも広かった (Table 1)。

屈曲前・後の年輪幅については，屈曲後は屈曲前よりも傾斜の上側では広く下側では狭くなっていた (Table 1)。

引張あて材は屈曲後の年輪の傾斜の上側（調査対象材部内では）のみに形成されていた (Photo 2)。

3. 道管の径は低い地上高では屈曲の前・後両年輪とも減少域から安定域に移る傾向が認められ，その変化点付近にある道管の半径径は約 40 μ であった。しかし地上高が高くなるほどこの傾向は不明確となっていた (Fig. 5)。

4. 屈曲樹幹における道管の形態については，6 月 30 日伐採の場合の大きな道管（半径径が上・下両側とも 150 μ 以上）では縦長であり，また上側の道管は下側のそれよりも大きく特に半径径でそうであった。しかし伐採時期が進み道管が小さくなるに伴い丸みを増し，また上・下両側における道管径の差は小さくなっていた (Table 3, Fig. 6)。

5. 屈曲後の道管の個数，面積は傾斜の上側が下側よりも大きかった。しかしその頻度（単位面積あたりの道管個数），面積率（単位面積あたりの道管面積）は上側で小さかった (Table 4, 5)。

6. それらの屈曲前・後の相違については，傾斜の上側では屈曲後の道管個数は屈曲前よりも減少しており，その頻度も減少していた (Table 4)。道管の面積は屈曲後は増大していたが，しかしその面積率は減少していた (Table 5)。

傾斜の下側では屈曲後は道管の個数，面積とも減少していたが，しかしその頻度および面積率は増大していた (Table 4, 5)。

7. このようにヤチダモの樹幹を屈曲すると，傾斜の上・下両側とも道管の形成が木部形成の量的変化に対応せず，その通導機能も対応していないといえる。

8. 屈曲樹幹の上側の広い年輪および下側の狭い年輪における道管の個数および面積を，それと等しい年輪幅の直立樹幹の正常年輪におけるものと比較した結果，傾斜の上側では個数・面積ともかなり小さくなっていたが下側では正常年輪とほとんど相違がみられなかった(Table 6)。しかしこの下側では木繊維の配列が屈曲前に比べてよくなっていた (Photo 3)。

したがって傾斜の上側でみられた道管形成の減退は屈曲樹幹特有な性質として認められ，これはこの側における引張あて材の形成に伴っていると考えられる。一方，下側でみられた屈曲前・後の道管における相違は単に年輪幅変化によるものと思われる。

9. ヤチダモにおいて傾斜刺激が上側では強固組織ばかりではなく通導組織にも影響を及ぼしている。一方下側では上側ほど顕著でないにしても傾斜刺激の影響が通導組織よりも強固組織にあらわれているように思われる。

参考文献

1) BÖNING, K. (1925): Über den inneren Bau horizontaler und geneigter Sprosse und seine Ursachen. Mitt. deutsch. Dendro. Gesell. 86-102.
2) DADSWELL, H. E. and Wardrop, A. B. (1955): The structure and properties of tention wood. Holzforschung **9** (4) 97-104.
3) HARTIG, R. (1901): Holzuntersuchungen. Altes und Neues.
4) HERIC, G. (1915): Zur Anatomie exzentrisch gebauter Hölzer.
5) JACCARD, P. (1917): Anatomische Struktur des Zug- und Druckholzes bei wagrechten Ästen von Laubhölzern. Viert. Jahrschr. d. naturforsch. Gesell. **63**, 303-321.
6) KOCH, C. B., Li, T. F., and HAMILTON, J. R. (1968): The nature of tention wood in Black Cherry. Bull. W. Va. Agric. Exp. Sta. No. 561.
7) MÜNCH, E. (1937-1938): Statik und Dynamik des schraubigen Baues der Zellwand, besonders des Druck- und Zugholzes. Flora **132** 357-424.
8) OLLINMAA, P. J. (1956): On the anatomic structure and properties of the tention wood in birch. Acta. For. Fenn. **64** (3) 1-263 (In Finnish with English summary).
9) ——————— (1961): Study on reaction wood. Acta For. Fenn. **72** (1) 1-54 (In Finnish with English summary).
10) 尾中文彦 (1949): アテの研究. 木材研究, 第1号, 1-88.
11) SACHSSE, H. (1965): Untersuchungen über Eigenschaften und Funktionsweise des Zugholzes der Laubbäume.
12) 坂村 徹 (1959): 植物生理学 (下巻).
13) SCURFIELD, G. and WARDROP, A. B. (1962): The nature of reaction wood. VI. The reaction anatomy of seedlings of woody perennials. Aust. J. Bot. **10** (2) 93-105.
14) ——————————————— (1963): The nature of reaction wood. VII. Lignification in reaction wood. Aust. J. Bot. **11** (2) 107-116.
15) 芳村了一・石田茂雄 (1970): あて材形成の実験的研究. (第1報) ヤチダモ小径樹幹における傾斜と偏心生長ならびに引張あて材の形成. 日本木材学会北海道支部講演集, 第2号, 24-26.
16) ——————— (1971): あて材形成の実験的研究. (第2報) ヤチダモ小径樹幹の人為的屈曲と道管の形態・分布. 第21回日本木材学会大会研究発表要旨.

Summary

1) A tree of Yachi-damo, *Fraxinus mandshurica* RUPR. var. *japonica* MAXIM., grown in normal condition, was artificially bent before initiation of the annual growth. The anatomical structure of the wood within the annual ring formed after bending was compared with that before bending, both on the upper and lower sides, especially in regard with diameter, number and area of vessels. All the vessels were counted and measured in the area of the sector with an angle of 15 degrees, of which the vertex was the center of the wood before bending as shown in Fig. 1. Seasonal variation of vessels diameter within the wood formed after bending was also investigated, through observing specimens taken from several sample trees cut in different growing seasons resp..

2) Width of the annual ring was wider on the upper side than the lower after bending, and wider after bending than before on the upper side, but narrower on the lower side. Tension wood was recognized only on the upper side in the annual ring after bending.

3) The vessels diminished in diameter from the inner towards the outer portion within the annual ring after bending, both on the upper and lower sides, like as the annual ring before bending, i. e., the normal ring. Especially at the lower height above the ground, vessels diameter soon began to attain to nearly a constant value, and the diameter of vessels in such a portion was about 40 microns.

4) The diameter of mature vessels found on June 30 was larger on the upper side than the lower. But the more the season proceeded, the less the difference in diameter between on the upper and the lower side became, and then when the vessels with about 40 microns of diameter were found, there was almost no differece in the diameter between both sides.

5) The vessels with about 40 microns of diameter were found on July 21 or August 18 both on the upper and lower sides, depending on the height above the ground.

6) Number and area of vessels were more on the upper side than the lower, but these values per unit area of wood were less on the upper side than the lower.

7) The number of vessels was less after bending than before both on the upper and lower sides. The number of vessels per unit area of wood was less after bending than before on the upper side, but more on the lower side. The area of vessels was more after bending than before on the upper side and less on the lower, while the area per unit area of wood was less after bending than before on the upper side and more on the lower.

8) In this way, the formation of vessels decreased after bending on the upper side compared with before, while the formation of growth increment increased there, and the conductive function of vessels increased less than the formation of growth increment increased. And on the lower side the formation and conductive function of vessels decreased less than the formation of growth increment decreased.

9) As compared the number and area of vessels within the annual ring on the upper and lower sides in a bent stem with that of normal ring corresponding to the

ring in the bent stem in its width, these values of the annual ring on the upper side was less than that of normal ring and on the lower side was similar to that of normal ring. And on the lower side the arrangement of wood fibers was better than that of the normal ring.

10) Therefore, the bending of a stem seems to influence not only the mechanical tissue but also the conductive tissue on the upper side and the mechanical tissue rather than the conductive tissue on the lower side.