論 文

ケヤキの成長と木材の性質 (I)

繊維長, 繊維壁厚, 早材道管内腔面積の髄から樹皮にかけての変動

藤 原 新 二*

藤原新二:ケヤキの成長と木材の性質 (I) 繊維長, 繊維壁厚, 早材道管内腔面積の髄から樹皮にかけての変動 森林計画誌 31: 7~14, 1998 ケヤキ材の繊維長, 繊維壁厚, 早材道管内腔面積の髄から樹皮にかけての変動と成長状態との関連を調べた。繊維長は供試木の肥大成長に関わらず, 平均して髄からの年輪数で約10年輪, 距離で約2cm ぐらいまで急速に伸長する。繊維壁厚はほとんど一定の傾向がみられないものと, 年齢とともに約10年ぐらいまでわずかに増大するものがみられた。早材道管の内腔面積は初期の肥大成長の影響が強く, 肥大成長が悪いと増大率が減少する。しかし, 髄から約7cm までは急速に増大する。ケヤキの構成要素の寸法変動からみて, 木材の性質は髄から約10年, 距離で約7cm の範囲はきわめて不安定と考えられる。

FUJIWARA, Shinji: Growth and wood properties of keyaki (*Zelkova serrata* Makino) (I) Variation in fiber length, fiber wall thickness and earlywood vessel lumen area from pith to bark. Jpn. J. For. Plann. 31: 7~14, 1998 The relationship between radial variation in fiber length, fiber wall thickness and earlywood vessel lumen area and growth rate of natural-grown and plantation-grown keyaki (*Zelkova serrata* Makino) were investigated. Fiber length increased rapidly during the first 10 years or 2cm from pith regardless of growth rate. Fiber wall thickness showed no distinct pattern or tendency to increase slightly from pith to 10 years. Earlywood vessel lumen area was closely related to early radial growth. Earlywood vessel lumen area increased rapidly to 7cm from pith, and then subsequently increased gradually. It is presumed that wood properties are unstable for 10 years or 7cm from pith.

1.はじめに

ケヤキ (*Zelkova serrata* Makino) はわが国の広葉樹の中で最も大きくなる樹木の一つで, 本州, 四国, 九州の各地に広く分布している。その木部は環孔材で年輪がはっきりしており, 老木からは美しい杓が得られ, また強度が強く, 耐久性があることから構造用材はもとより装飾用材としても広く使用されている。このような木材の有用性から今後さらに造林が期待される代表的な樹種であるが, 現在使用されている木材はほとんどが天然生のもので, 近年の天然木の減少, 特に貴重材の枯渇からこれに替わる高品質材の育成が急務となっている。ケヤキは木材の貴重性から人工造林された例が多く, 天然林及び人工林の成長状態や施業方法などについては, 橋詰 (1985, 1987, 1988a, 1988b), 橋詰ら (1987), 橋詰ら (1991), 山脇 (1981a, 1981b), 片倉・三原 (1984), 浅川・黒田 (1986), 有岡 (1991) らの報告がみられる。

しかし, これらの研究は主としてケヤキの成長に関するものであり, 材質との関連で成長を調べたものはほとんどみられない。今後ますます増加すると考えられるケヤキ優良材の要求に答えるためには, 成長状態

によって木材の性質がどのように変動するかを知る必要がある。そこで, 本研究はケヤキの育林技術体系をつくる基礎的知見を得るために, 成長と木材の構成要素の変動との関係を調べた。針葉樹の形成層の紡錘形始原細胞は新しくつくられてからのち, 約10~15年まではその長さが著しく伸び, その後は安定することが認められている。この髄から10~15年くらいまでに存在する木部は未成熟材と定義され, 木材のいろいろな性質が成熟材よりも劣っている。このような未成熟材は広葉樹でも存在することが知られている (9, 29, 34)。しかし, 古川ら (1983) は日本産広葉樹71種の木部繊維 (真正木繊維及び繊維状仮道管) と道管要素の長さの水平方向の変動を調べ, 3つの型に分類している。すなわち, I型は道管要素長はほぼ一定で, 繊維長のみが飽和曲線的に増加するタイプ, II型は道管要素長は漸増し, 繊維長は飽和曲線的に増加するタイプ, III型は道管要素長, 繊維長ともに飽和曲線的に増加するタイプである。そして, ケヤキはI型に属し, 繊維長は髄から樹皮にかけて急増した後安定するが, 道管要素長は一定のままである。このことはケヤキでは紡錘形始原細胞の長さが形成層の年齢とともに変化しないことを意味し, 始原細胞自身が年齢とともに伸長する針葉

* 高知大学農学部 Fac. of Agric., Kochi Univ., Nankoku, Kochi 783-8502

樹とは異なっている。さらに古川ら(1989)はケヤキの繊維長や道管要素長には成育環境の影響が少なく、樹種固有の遺伝的な性質が強く影響しており、保育施業によってこれらを変えることが困難であるとしている。また、ケヤキでは樹幹内部に材質の極端に劣る未成熟材のような材部は存在しないと述べている。そこで、本研究では繊維長とともに、木材の性質に影響を与えると考えられる、繊維の壁厚、早材道管の内腔面積の年齢による変動を肥大成長の異なる12本の供試木について調べ、初期成長の違いが未成熟材の範囲に与える影響を明らかにするとともに、保育施業による材質管理の可能性について検討した。

II. 材料と方法

1. 供試木

ケヤキ(*Zelkova serrata* Makino)の供試木は高知県香美郡物部村の大栃営林署管内、宇筒舞山国有林の天然木および造林木より採取した。採取に際しては供試木の径級毎にできるだけ成育立地条件の類似した場所から選木した。供試木の径級は胸高直径約10cmのものを小、約20cmのものを中、約30cmのものを大として区

分し、各区分内から天然木1本、造林木3本、計12本を選び、それぞれの胸高部から円板を採取した。しかし、大径級として採取した天然木については、胸高直径が36cmであったが、年輪数が118年で肥大成長が悪かったので、成長の遅い供試木に分類した。供試木の概要は表-1の通りである。天然木SN1以外は50前後の年輪数だったので各種の測定は50年輪までとした。50年輪までの肥大成長の状態を図-1に示した。

表-1. 供試木の概要

Sample trees					
Radial growth	Class of forest	Symbol	Diameter at breast height (cm)	Ring number at breast height	Tree height (m)
Fast	Plantation	FP1	30	52	22
	Plantation	FP2	27	51	21
	Plantation	FP3	34	51	23
Medium	Natural	MN1	22	46	15
	Plantation	MP1	21	49	16
	Plantation	MP2	21	49	17
	Plantation	MP3	20	49	15
Slow	Natural	SN1	36	118	18
	Natural	SN2	12	45	11
	Plantation	SP1	10	44	12
	Plantation	SP2	10	49	14
	Plantation	SP3	10	47	13

図-1 供試木の肥大成長
Radial growth of sample trees

2. 繊維長の測定

各円板の髄から樹皮にかけて繊維長測定用の試料を採取した。そして、原則として2年輪毎に小片を切り出し、常法により解繊した後、光学顕微鏡でそれぞれ100本の長さを測定し、その平均値を各部位の繊維長とした。

3. 繊維壁厚の測定

各円板の髄から樹皮にかけて厚さ約 $20\mu\text{m}$ の横断面切片を作製し、これを電子顕微鏡で観察しながら晩材部のほぼ中央部の繊維の写真($\times 1500$)を撮った。次いで印画紙に拡大焼き付けした後、各繊維の横断面をトレーシングペーパーにトレースし、これを画像解析装置にかけて横断面積と壁面積を測定した。この繊維の横断面積と壁面積から FUJIWARA ら (1990) の方法で計算により平均壁厚を求めた。約50細胞の平均値をその年輪の繊維壁厚とした。

4. 早材道管の内腔面積の測定

各円板の髄から樹皮にかけて厚さ約 $20\mu\text{m}$ の横断面切片を切り、永久プレパラートを作製した。これを光学顕微鏡で観察するとともに、早材(孔圈部)道管の写真を撮り、印画紙に拡大焼き付けした後、繊維壁厚の場合と同じ方法で道管の内腔の面積を測定した。

それぞれの測定は円板の谷側より採取した試料について行った。

III. 結果と考察

1. 繊維長の変動

図-2は12本の供試木を肥大成長の状態によって3つに分類し、繊維長の髄から樹皮にかけての変動をみたものである。繊維長は髄付近が最も短く、年輪数とともに10~15年輪ぐらいまでは急速な伸長を示している。塩倉らは針葉樹の仮道管長について、初期の成長を抑制すると成熟材部に達するまでに長い期間を要し(26)、初期成長を促進すると未成熟材の形成期間が短縮される(27)と報告しているので、繊維長の変動を肥大成長の大きい供試木FP1とFP3、小さい供試木SN1とSP2について図-3に示した。繊維長が急速に伸長する期間はFP1:14年、FP3:12年、SN1:8年、SP2:10年であった。急速な伸長の後はゆるやかな伸長になり、20~25年輪ぐらいからはほぼ安定している。本研究のケヤキ繊維長については肥大成長による繊維長の急速な伸長期間への影響はほとんど認められなかった。全供試木の繊維長の急速な伸長期間は髄からの年輪数で6年~14年(平均10.5年)、髄からの距離で8.2mm~28.3mm(平均16.6mm)の範囲であった。須川(1979)は2本のケヤキ供

図-2 繊維長の髄から樹皮にかけての変動
Variation in fiber length from pith to bark

図-3 成長の速い木と遅い木の繊維長の髄から樹皮にかけての変動
Variation in fiber length in fast-grown and slow-grown trees from pith to bark

図-4 繊維壁厚の髄から樹皮にかけての変動
Variation in fiber wall thickness from pith to bark

試木について、繊維長の変動から未成熟材を髓から25年および30年の範囲と報告している。また、古川ら(1989)は天然木、造林木ともに繊維長は60年ぐらまで増加するとしている。これらの研究とくらべ、本研究で用いた供試木の繊維長は比較的若い年輪で安定している。また、深沢ら(1979)はシナノキ材の未成熟材の範囲を半径5cmぐらと報告しており、この距離と比較しても、本供試木の繊維長の伸長期間は狭い範囲であった。繊維長の急速な伸長期間は肥大成長の状態、天然木、造林木とは関係なく供試木固有の性質と考えられる。しかし、平均的にみて、髓からの年輪数で約10年、距離で約2cmぐらと推定される。

2. 繊維壁厚の変動

繊維壁厚の髓から樹皮にかけての変動については、ほとんど一定の傾向が認められないものと髓付近の年輪では壁厚が小さく、約10年輪ぐらから増減を繰り返すようになるもの(図-4)に大別された。繊維壁厚も繊維長と同様に髓からの年輪数とともに増大するという報告が多い(8, 25, 28, 31)。ケヤキでは繊維壁厚の増大は繊維長の増大ほど顕著ではなかった。繊維壁厚が増大する期間、壁厚の大小は肥大成長とは関連がみられなかった。

3. 早材道管内腔面積の変動

早材部(孔圈部)の道管内腔面積の髓から樹皮にかけての変動を繊維長の場合と同じように、肥大成長の良い供試木FP1とFP3、肥大成長の悪い供試木SN1とSP2の例を図-5に示した。道管内腔面積は肥大成長の良いFP1とFP3はそれぞれ31年、25年までは急速に増大し、その後もゆるやかな増大がみられ、50年でもまだ安定していない。肥大成長の悪い供試木SN1は9年、SP2は17年まで急速に増大した後30年ぐらまでゆるやかに増大した後ほぼ安定している。この図-5から成長の良い供試木の方が道管は大きくなるのがわかる。図-6は全供試木の肥大成長の差による道管の大きさの変動の様子をみたものである。道管は年輪数とともに徐々に増大しているが、肥大成長の悪い供試木は道管内こう面積の増大率が小さいことがわかる。道管の大きさ(直径、内腔径、横断面積)が初め急増し、その後安定あるいはさらに漸増する傾向は他の散孔材、環孔材についての報告(3-6, 8, 11, 14, 22-24, 28, 30, 31)と同じである。ケヤキの道管要素は年齢とともにその長さは変化しないが(12)、直径は大きくなっている。次に早材の道管内腔面積の髓からの距離による変動をみたのが図-7である。髓からの距離でみると全供試木がほぼ同じような変動経過を示している。このことからケヤキの道管の横断面の大きさは肥大成長の影響を強

図-5 成長の速い木と遅い木の早材道管内腔面積の髓から樹皮にかけての変動
Variation in earlywood vessel lumen area in fast-grown trees from pith to bark

図-6 早材道管内腔面積の髄から樹皮にかけての変動
Variation in earlywood vessel lumen area from pith to bark

図-7 早材道管内腔面積の髄からの距離による変動
Variation in earlywood vessel lumen area distance from pith

く受け、初期の肥大成長が良ければ、少ない年数で個体固有の大きさに達し、肥大成長が悪ければ長い年数かかるものと考えられる。本研究で用いた供試木では髄から16cm ぐらいではまだ増大傾向がみられた。

繊維長は髄からの年輪数で約10年輪、距離で約2cm までは急速な伸長を示している。繊維の壁厚も髄から約10年輪ぐらいで安定する。一方、早材道管の内腔面積も髄からの年輪数とともに増大するが、初期の肥大成長が遅いと増大率が減少するために、個体固有の大きさに達するまでに長期間を要する。全供試木の平均では早材道管の内腔面積は髄から約7cm 位まで急速に増大する。これらの結果からみて10年間で半径7cm ぐらいに成長させると髄付近の不均質な木材の量が最小にできると推定される。この髄付近の細胞が急速に変動する木材部を他の樹種と同じ様にケヤキにおいても未成熟材と定義することに対しては異論もみられる(13)。すなわち、上述したように一般的には形成層の紡錘形始原細胞が年齢とともに急速に伸長する期間が未成熟材と定義されているが、ケヤキではこの紡錘形始原細胞はほとんど伸長しない。木部繊維は形成層から分裂後、分化中に割り込み成長して長さが増大する。従って、木部繊維の変動で未成熟材の範囲を決定することには問題があるというものである。同じ長さの紡錘形始原細胞から分裂するのに、繊維は伸長するが、道管要素は伸長しない。また、肥大成長に対する反応も異なっており、これらは樹木の進化や細胞の機能の違いと関連があるのかもしれない。本研究ではケヤキについては従来の紡錘形始原細胞の伸長からみた未成熟材の意味ではなく、材の性質が年齢とともに変動し、不安定な木部という意味で未成熟材と呼ぶことにする。この未成熟材の範囲を施業方法によってある程度管理することは可能と考えられる。

引用文献

- (1) 有岡利幸(1991)65年生ケヤキ林の間伐効果. 林業技術 **592**: 42~45.
- (2) 浅川澄彦・黒田義治(1986)広葉樹林を育てる. 174~187pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- (3) BAMBER, R.K. and CURTIN, R.A. (1972) Some properties of wood in blackbutt trees of two ages. Aust. For. **36**: 226~234.
- (4) BUTTERFIELD, R.P., CROOK, R.P., ADAMS, R. and MORRIS, R. (1993) Radial variation in wood specific gravity, fibre length and vessel area for two central American hardwoods: *Hyeronima alchorneoides* and *Vochysia guatemalensis*: natural and plantation-grown trees. IAWA Journal **14**: 153~161.

- (5) DESCH, H.E. (1932) Anatomical variation in the wood of some dicotyledonous trees. New Phytol. **31**: 73~118.
- (6) FOULGER, A.N., VIMMERSTEDT, J.P. and EICHAR, C. (1975) Stem anatomy of 30-year-old yellow-poplar. For. Sci. **21**: 23~33.
- (7) FUJIWARA, S. and IWAGAMI, S. (1990) Tree growth and cell dimensions III. Variations of tracheid cross section dimensions across growth rings in sugi (*Cryptomeria japonica*). IAWA Bulletin **11**: 97~101.
- (8) 深沢和三・大谷 諄(1979)シナノキ材密度の樹幹内変動に及ぼす年齢及び生長効果. 北大演報 **36**: 609~622.
- (9) 古川郁夫・松本恵美子・作野友康・岸本潤(1981)小径広葉樹の材質(第1報)コナラ・クヌギの繊維長の樹体内変動. 木材学会誌 **27**: 507~511.
- (10) 古川郁夫・世古口昌子・松田雅子・作野友康・岸本潤(1983)小径広葉樹の材質(第2報)小径広葉樹材71種の繊維長および道管要素長の水平変動. 広葉樹研究 **2**: 103~134.
- (11) 古川郁夫・橋詰隼人(1987)クヌギ壮齢木の材質に及ぼす施肥および整理伐の影響. 木材学会誌 **33**: 443~449.
- (12) 古川郁夫・福谷繁樹・岸本潤(1989)ケヤキ樹幹内の材質変動特性 — 年輪幅, 繊維長, 道管要素長, 気乾比重, 縦圧縮強度の水平変動 —. 広葉樹研究 **5**: 197~206.
- (13) 古野 毅・澤辺 攻(1994)木材科学講座 2. 組織と材質. 113~118pp, 海青社, 滋賀.
- (14) GARTNER, B.L., LEI, H. and MILOTA, M.R. (1997) Variation in the anatomy and specific gravity of wood within and between trees of red alder. Wood and Fiber Science **29**: 10~20.
- (15) 橋詰隼人(1985)ケヤキ天然木の生長とケヤキ材の施業について. 36回日林関西支講: 165~168.
- (16) 橋詰隼人(1987)ケヤキの天然木及び造林木の生長とケヤキ林の施業について. 広葉樹研究 **4**: 39~47.
- (17) 橋詰隼人・古川郁夫・作野友康・大森裕司(1987)ケヤキの利用材積と材質について. 広葉樹研究 **4**: 49~59.
- (18) 橋詰隼人(1988a)多雪地帯におけるケヤキ造林木の生育と枝打ちについて. 99回日林論: 441~442.
- (19) 橋詰隼人(1988b)ケヤキの生長, 材質の特性と育種について. 林木の育種 **147**: 1~5.
- (20) 橋詰隼人・黒井大・安井敏(1991)壮齢ケヤキ人工林の林分構造, 生育状況及び各種形質について. 広葉樹研究 **6**: 59~77.

- (21) 片倉正行・三原康義(1984)長野県中部におけるケヤキ人工林の生長について. 32回日林中支講: 205~208.
- (22) LEI, H., MILOTA, M.R. and GARTNER, B.L. (1996) Between-and within-tree variation in the anatomy and specific gravity of wood in Oregon white oak. IAWA Journal **17**: 445~461.
- (23) PESZLEN, I. (1994) Influence of age on selected anatomical properties of populus clones. IAWA Journal **15**: 311~321.
- (24) PHELPS, J.E. and WORKMAN, E.C. (1992) Vessel area studies in black walnut. Wood and Fiber Science **24**: 60~67.
- (25) RAO, R.V., AEBISCHER, D.P. and DENNE, M.P. (1997) Latewood density in relation to wood fibre diameter, wall thickness, and fibre and vessel percentages in *Quercus robur* L. IAWA Journal **18**: 127~138.
- (26) 塩倉高義・渡辺治人(1971)未成熟材に関する研究(第4報)エゾマツとトドマツの樹幹半径方向における平均仮道管長の変動に及ぼす初期生長抑制の影響. 東農大農集報 **16**: 99~104.
- (27) 塩倉高義・渡辺治人(1974)未成熟材に関する研究(第5報)スギ樹幹の半径方向における平均仮道管長の変動に及ぼす初期の生長促進の影響. 東農大農集報 **18**: 139~144.
- (28) 須川豊伸(1971)レッドラワン材の組織と比重の樹幹内変動について. 木材工業 **26**: 114~116.
- (29) 須川豊伸(1979)日本産主要樹種の性質, 組織構造的性質(第1報)主要広葉樹の繊維長. 林試研報 **306**: 135~167.
- (30) TAYLOR, F.W. (1973) Variations in the anatomical properties of South African grown *Eucalyptus grandis*. Appita **27**: 171~178.
- (31) WILKES, J. (1988) Variation in wood anatomy within species of *Eucalyptus*. IAWA Bulletin **9**: 13~23.
- (32) 山脇英夫(1981a)ケヤキ人工林施業. 31回日林関西支講: 42~48.
- (33) 山脇英夫(1981b)ケヤキ人工林施業. 林業技術 **473**: 43~45.
- (34) 渡辺治人・松本昴・林弘也(1966)未成熟材に関する研究(第3報)広葉樹材についての実験. 木材学会誌 **12**: 259~265.

(1998年1月14日 受理)