

スギ，ヒノキ人工林の間伐や植栽密度の違いが 立木ヤング率に及ぼす影響[†]

池田潔彦¹⁾

¹⁾ 農林技術研究所森林・林業研究センター

Effect of Plantation Density and Thinning on Modulus of Elasticity of Japanese Cedar and Japanese Cypress

Kiyohiko Ikeda¹⁾

¹⁾ Forestry and Forest Products Research center/Shizuoka Res.Inst.of Agric. and For.

Abstract

The purpose of this study was to determine the effect of initial plantation density and thinning treatment on the modulus of elasticity of Japanese cedar (*Criptomeria japonica* D.don) and Japanese cypress (*Chamaecyparis Obutusa* Endl) trees. The dynamic modulus of elasticity (*Ev*) and the diameter at breast height (DBH) of standing trees were measured in four research stands. A statistically significant difference was not found in *Ev* among the experimental plots that had different thinning intensity and initial planting density. When increasing the diameter-growth of trees after thinning, no decrease in *Ev* was observed. Between DBH and *Ev*, no significant correlation was found in any of the research stands. These data suggested that *Ev* was related to genetic factors associated with microfibril angle rather than silvicultural treatment.

キーワード：ヤング率，植栽密度，間伐，スギ，ヒノキ

I 緒 言

針葉樹人工林の多くは，生育環境と伐期齢を考慮し，植栽密度や間伐等の施業管理により成長と形質を調整することで，経営目標に合った木材生産を行ってきた。吉野地方におけるha当たり10000本前後の密植と頻繁な間伐による完満通直で年輪幅の均一な優良大径材生産や，かつての飢肥地方におけるha当たり1000～1500本前後の疎植による造船用材に適した木材生産などはその代表といえる¹⁴⁾。このように，針葉樹人工林の保育形式，施業管理が木材の成長と形質に大きな関連性を有していることは，公設試験機関等の調査で実証されている。静岡県でも各地域のスギ，ヒノキ林の立木調査結果と林分密度

管理図に基づき，植栽密度，間伐率，地位別に優良材，一般材等の施業体系に応じた林分材積表，収穫予想表が作成されている¹⁵⁾。

一方，近年で建築業等消費側の木材需要は量から質への転換が急速に進んでいることから，林業生産側もそれに対応した生産目標の設定が必要と思われる。また，林業や木材産業は外材との競合や国内産地間との競争が，今後更に進むことが予想されるため，本県の施業手法，立地環境及び遺伝特性を活かし，特徴のある材質を有した木材生産や，材質特性を活かした木材の加工利用技術が必要になっている。しかし，針葉樹人工林の施業管理，立地環境及び遺伝特性と材質との関連性については未解明な点が多く残されている。

[†] 本研究の一部は第 57 回日本木材学会大会 (2007 年 8 月広島) で口頭発表した。

施業の違いと材質との関連性に関する研究は、植栽密度の違いによる幹形や枝節性(節種類、節径、節数)の変化⁹⁾や、間伐がカラマツの容積密度数と仮道管長に及ぼす影響¹¹⁾、植栽密度の違いがスギの年輪幅、晩材率に及ぼす影響¹²⁾に関する報告があるにすぎない。特に、施業手法と建築構造材への利用の際に重要な材質指標となるヤング率や強度性能との関連性に関する報告⁸⁾は乏しい。更に、植栽密度が疎である場合や強度間伐を実施した場合には、肥大成長に伴い年輪幅の拡大、容積密度数と晩材率の減少によるヤング率、強度低減の恐れも懸念される。また、既報の多くは平均的な成長を示す立木数個体による結果であり、立木個体間のばらつきを考慮した多くのサンプル数により、林分としての材質評価を行った報告は皆無である。

本研究では、植栽密度や間伐率が異なるスギ、ヒノキの間伐試験林において応力波伝播法による立木ヤング率と肥大成長の関係を、また、若齢期のスギ、ヒノキ林分で間伐前後における立木ヤング率の変動を調べ、施業履歴の違いがヤング率に及ぼす影響について検討した。

II 試験林と試験方法

1. スギ・ヒノキ間伐試験林における立木ヤング率

表1にスギ・ヒノキ間伐試験林の林分概況、林内に設定された各試験区の植栽密度と試験時の立木密度を示す。

浜松市天竜区横山町(以下、「天竜区横山」)のスギ間伐試験林は、植栽密度が3000本/ha、4500本/ha、6000本/haの3試験区が設定されている。25年生時に間伐が行われ、調査時の林齢33年生では立木密度がいずれも1200本/haであった。浜松市天竜区龍山町戸倉(以下、「天竜区戸倉」)のスギ間伐試験林は、3試験区ともに植栽密度が4900本/haで、24年生時と36年生時に2度の間伐が行われ、調査時の50年生では各試験区の立木密度が800本/ha、1100本/ha、1600本/haであった。

富士市桑崎のヒノキ間伐試験林は、植栽密度4000本/haの3試験区で、27年生時、32年生時、40年生時に間伐が行われ、調査時の林齢44年生では立木密度1000本/ha、1400本/ha、2000本/haであった。富士市大淵のヒノキ間

伐試験林は、植栽密度が4500本/haで林齢50年生時まで間伐等の施業を全く実施していない無間伐区と、同じ植栽密度で25年生時と35年生時に間伐が行われ調査時林齢50年生の立木密度が2000本/ha、1600本/haの間伐区からなる。各試験林における植栽密度や間伐の程度は本県内にて実施されている一般的な施業範囲である。

各試験林で立木50～100本を無作為に選び、応力波伝播法による動的ヤング率(以下、立木 E_v)と胸高直径を測定した。立木 E_v の測定には携帯型立木ヤング率測定器Tree Checker(日本ビニロン(株))またはFAKKOP(富士物産(株))を用いた。その際、立木の山側面で、根元から約30cmに受信センサーを、同130cmの位置に発信センサーをそれぞれ立木に対し約45度の角度で取り付け繊維方向の応力波伝播速度を計測し、みかけの密度を既報⁷⁾より900kg/m³一定値と仮定し、(1)式から立木 E_v を求めた。

$$E_v = V_p^2 \times \rho_{ett} \quad (1)$$

E_v ：応力波伝播法による立木ヤング率(kN/mm²)

V_p ：繊維方向の応力波伝播速度(km/sec)

ρ_{ett} ：有効密度(kg/m³)

胸高直径は輪尺を用いて2方向で計測し両者その平均値とした。

2. 間伐前後における立木ヤング率 E_v の変動

森林・林業研究センター第2苗畑構内(浜松市浜北区於呂)のスギ、ヒノキ試験林で、間伐前後における立木 E_v の変動を同一立木で調べた。試験林は、植栽密度6000本/haでスギとヒノキが隣接して列状植栽され、林齢22年生時まで除間伐等手入れが全く実施されていない林分である。

同林分内のスギ・ヒノキ立木各50本ずつを試験木とし、林齢19年生時と間伐を実施した林齢22年生時及びその3年経過後の林齢25年生時に、胸高直径と立木 E_v を前節と同様の方法で計測し、間伐前後における変動を調べた。なお、間伐後の立木密度は3000本/haである。

III 結 果

1. スギ・ヒノキ間伐試験林における立木 E_v

スギ、ヒノキ間伐試験林の立木 E_v と胸高直径を表2に示す。試験林毎に試験区間の胸高直径と立木 E_v について

表1 スギ、ヒノキ間伐試験林の概要と植栽密度及び調査時の立木密度

試験林	樹種	林齢	方位	標高 (m)	地位 指数	土壌型	植栽密度—立木密度 (本/ha)		
							I 区	II 区	III 区
浜松市天竜区横山	スギ	33	南南東	600	2	B1d	3000-1200	4500-1200	6000-1200
浜松市天竜区戸倉	スギ	50	南西	250	2	Bd	4900-800	4900-1100	4900-1600
富士市桑崎	ヒノキ	44	南東	650	2	B1d	4000-1000	4000-1400	4000-2000
富士市大淵	ヒノキ	50	南	400	3	B1d	4500-1600	4500-2000	4500-4500

分散分析を行った結果、各試験林ともに、胸高直径では試験区間に有意差(危険率1%)が認められたが、立木 E_v では試験区間で有意差が認められなかった。胸高直径の平均値は調査時の立木密度が低い試験区や植栽密度が低い試験区ほど大きく、間伐率や植栽密度の違いによる肥大成長への影響が各試験林ともにみられた。

しかし、立木 E_v の平均値、変動係数及び母集団を正規分布、対数正規分布と仮定した立木 E_v の5%下限信頼限界値(以下、5%下限値)は、天竜区横山と天竜区戸倉及び富士市桑崎の各試験林では各試験区の値がほぼ同じであった。また、富士市大淵では、無間伐区と間伐区に胸高直径の平均値で約5cmの違いがある反面、立木 E_v の平均値と5%下限値は無間伐区が最も小さかった。更に、立木 E_v の変動係数は間伐区ともに11%であるのに対し無間伐区では14%と大きく、胸高直径でも変動係数は無間伐区が間伐区よりも大きかった。これらの結果は、無間伐区には被圧木や劣勢木が多く残存したためと推定される。すなわち、それら立木は、肥大成長が抑制されたこ

とで年輪幅が狭くなったが、未成熟材から成熟材への移行が遅れることや、晩材がヒノキでは十分に形成されない場合がある¹⁰⁾。それらにより、林分内での個体間のばらつきが大きくなったためと思われる。

針葉樹構造用製材JASの機械等級区分に準じて、立木 E_v により機械等級区分した立木の等級比率を表3に示す。各等級の比率は、試験林間で若干異なるが、試験区間での明らかな違いは認められなかった。また、「しずおか優良木材認証制度」製品品質規格におけるヤング率基準値は、スギ6kN/mm²(E70)以上、ヒノキ8kN/mm²(E90)以上であるが、各試験林ともにそれを下回る立木本数はスギが4%以下、ヒノキが7%以下で、試験区間に顕著な違いはみられなかった。

図1に胸高直径と立木 E_v との関係を示す。スギ、ヒノキ各試験林ともに、胸高直径と立木 E_v との相関係数は、植栽密度が最も低い試験区、調査時の立木密度が最も低い試験区のみで有意(危険率1%)となったが、いずれも低い負の値であった。それ以外の試験区ではいずれも相関

表2 各試験林における試験区別の胸高直径と立木 E_v

試験林	試験区 (本/ha)	胸高直径 (cm)				分散	立木 E_v (kN/mm ²)					分散
	植栽密度-立木密度	平均	最大	最小	CV (%) ¹⁾	分析 ³⁾	平均	最大	最小	CV (%) ¹⁾	5%下限値 ²⁾	分析 ³⁾
スギ 浜松市天竜区 横山	3000-1200	25	34	17	18		7.3	9.5	5.6	12	5.8 ^{LN)}	
	4500-1200	23	34	13	19	**	7.3	9.7	5.2	13	5.5 ^{LN)}	ns
	6000-1200	23	32	14	16		7.5	9.9	5.7	13	5.8 ^{N)}	
スギ 浜松市天竜区 戸倉	4900- 800	30	45	15	15		7.4	8.2	5.6	11	5.7 ^{LN)}	
	4900-1100	25	38	16	16	**	7.7	10.5	5.5	12	6.2 ^{LN)}	ns
	4900-1600	22	31	15	15		7.4	9.2	5.6	11	6.0 ^{N)}	
ヒノキ 富士市桑崎	4000-1000	20	11	27	17		10.6	14.2	8.6	11	8.8 ^{LN)}	
	4000-1400	19	11	25	15	**	10.4	13.5	8.5	10	8.7 ^{LN)}	ns
	4000-2000	17	9	20	14		10.6	13.5	8.3	10	8.6 ^{LN)}	
ヒノキ 富士市大淵	4500-1600	25	38	18	15		10.2	14.2	7.0	11	8.2 ^{N)}	
	4500-2000	24	36	17	14	**	10.1	12.4	7.3	11	8.2 ^{N)}	ns
	4500-4500	20	30	11	22		9.9	13.8	6.7	14	7.7 ^{LN)}	

1) CV:変動係数, 2) 5%下限値:分布データ当てはめにより適合度の高かった正規分布^{N)}

または対数正規分布^{LN)}を母集団分布と仮定して求めた5%下限信頼限界値

3) **: 1%水準で有意差有り, ns: 有意差無し

表3 各試験林における立木のJAS構造用製材機械区分に準じた等級比率

スギ: 天竜区横山					スギ: 天竜区戸倉				
植栽密度-立木密度		JAS機械等級比率 (%)			植栽密度-立木密度		JAS機械等級比率 (%)		
(本/ha)		E50	E70	E90 E110	(本/ha)		E50	E70	E90 E110
3000-1200		2	70	26 2	4900- 800		4	65	30 0
4500-1200		4	62	32 2	4900-1100		3	58	38 1
6000-1200		4	60	34 2	4900-1600		3	74	20 3
ヒノキ: 富士市桑崎					ヒノキ: 富士市大淵				
植栽密度-立木密度		JAS機械等級比率 (%)			植栽密度-立木密度		JAS機械等級比率 (%)		
(本/ha)		E70	E90	E110 E130	(本/ha)		E70	E90	E110 E130
4000-1000		0	14	33 4	4500-1600		3	34	58 10
4000-1400		0	21	26 5	4500-2000		2	41	53 4
4000-2000		0	16	27 8	4500-4500		7	49	34 10

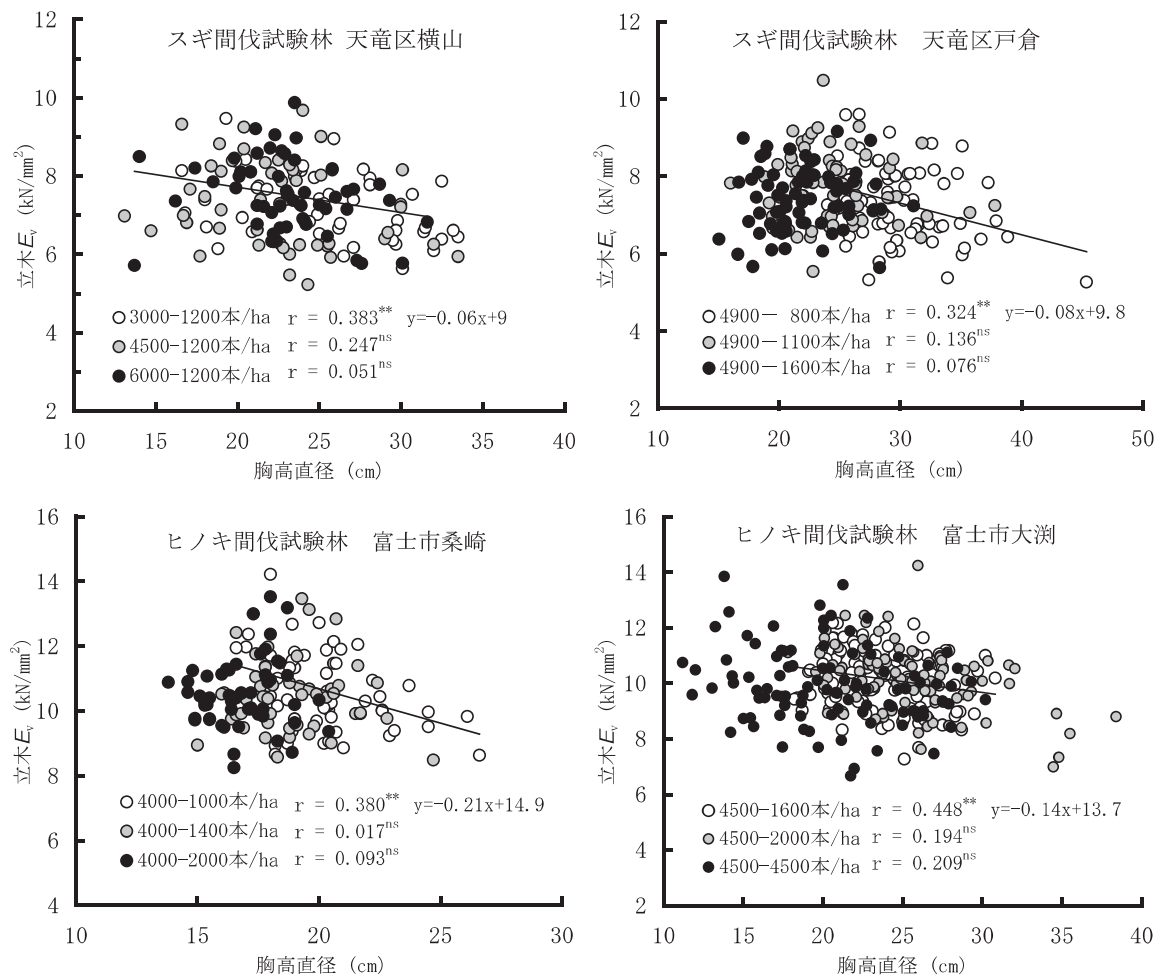


図1 スギ・ヒノキ間伐試験林における立木 E_v と胸高直径との関係
r: 相関係数 **危険率1%で有意、ns: 無相関

関係が認められず、試験林毎に全試験区の立木を一括した場合でも両者間に相関関係は認められなかった。このことから、間伐による肥大成長の違いで年輪幅が異なった場合でもヤング率の低減は確認されず、植栽密度や間伐率の違いによる影響は肥大成長と比べてヤング率では小さいことが示唆された。

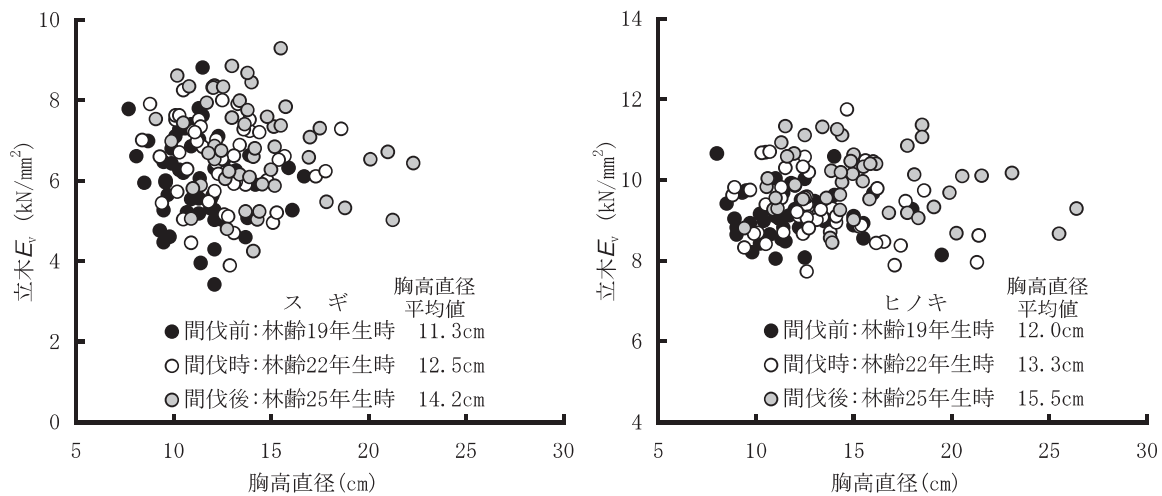
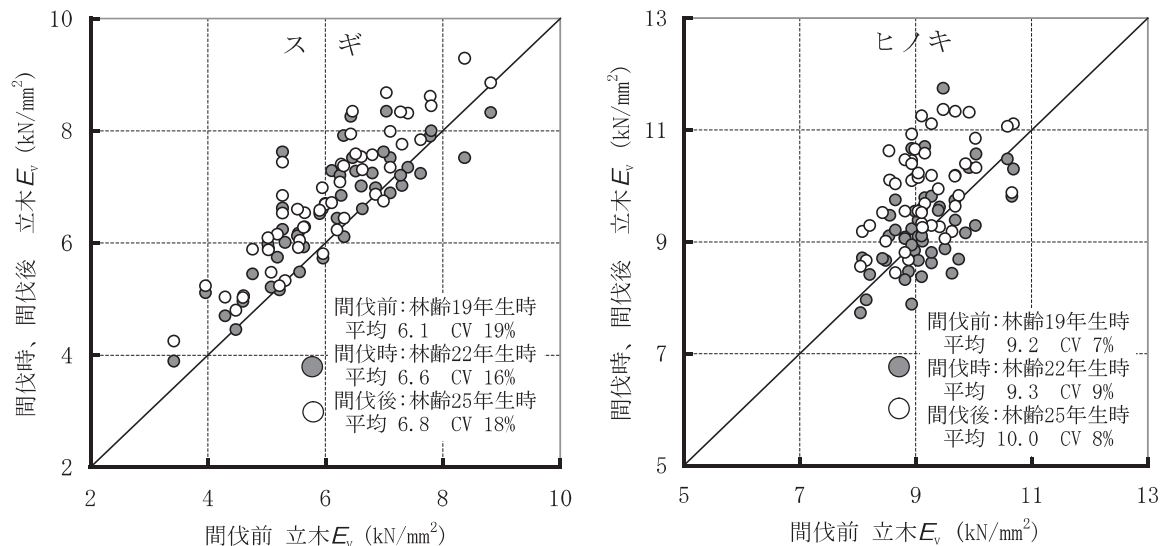
2. 間伐前後における立木ヤング率 E_v の変動

図2に林齢19年生時(間伐前)、同22年生時(間伐時)、及び同25年生時(間伐後)における胸高直径と立木 E_v の関係を示す。試験林は、林齢22年時まで除間伐が未実施であったため、林冠が完全に閉鎖した過密状態にあった。このため、間伐前後における各3年間の胸高直径の平均値を比べると、間伐後の肥大成長量がスギ、ヒノキともに顕著であった。一方、各調査時とも胸高直径と立木 E_v には有意な相関関係が認められず、特に間伐後の肥大成長が顕著な個体でも立木 E_v の低下は確認されなかった。

図3に同一立木で間伐前と間伐時及び間伐後における立木 E_v を比較した結果を示す。立木 E_v は、スギでは間伐の前後で変化がないか、間伐後にやや大きくなる傾向がみられた。また、ヒノキでは間伐前の3年間では主に被圧木、劣勢木と推定される立木は E_v が低減しているが、間伐後には大半の個体が大きくなっている。スギ、ヒノキともに、間伐により肥大成長量が大きくなった優勢木でも立木 E_v が低減する傾向は確認されなかった。

IV 考 察

植栽密度や間伐率などの施業履歴が異なると、肥大成長に伴い年輪幅、容積密度数、晩材率及び仮道管長に差異が現れるとともに、枝下材率、樹幹内の節数、節径及び節種類など枝節性の違いが生じ、それら材質の違いが製材品等の強度性能に影響すると考えられてきた⁹⁾。しかし、本試験の結果では、スギ、ヒノキ人工林におい

図2 間伐前後(林齢19 22 25年生時)における胸高直径と立木 E_v の関係図3 間伐前に対する間伐時と間伐後における立木 E_v の関係

CV : 変動係数, 図中の斜線はY軸値=X軸値

て、植栽密度や間伐率の違いによる影響は立木 E_v では認められず、間伐前後での立木 E_v 変動にも顕著な差は確認されなかった。我が国で唯一、材質と植栽密度の関連性を植栽密度試験林(スギ: 2500本/ha, 10000本/ha, ヒノキ: 2500本/ha, 5000本/ha, 10000本/ha, 40000本/ha)で調べた報告⁸⁾では、スギ、ヒノキともに植栽密度が高くなるほど晩材率、容積密度数は大きくなるが、ヤング率は試験区間に明らかな差が無かった。また、台湾の植栽密度試験林(ha当たり400本, 650本, 1100本, 2500本, 10000本)のスギ材では、400本/ha区と10000本/ha区の間には仮導管長、晩材率及びヤング率に有意差が認められるものの、650本/ha~2500本/haの試験区間では有意差が認められていない¹⁷⁾。更に、植栽密度750本/ha区と3000

本/ha区のロブローリーパイン製材でもヤング率に有意差が認められておらず²⁾、いずれも本試験と同様の結果となっている。

これら結果の主要因は、晩材仮道管S2層ミクロフィブリル傾角(以下、MF傾角)にあると考えられる。すなわち、MF傾角は、肥大成長の違いによる影響を受けにくいことや⁵⁾、密植した場合に容積密度数が大きくなる反面、MF傾角や晩材率が変わらずヤング率もほとんど増大しない報告¹⁶⁾があるように、ヤング率との関連性が容積密度数等と比べて大きいこと^{3,17)}が関与したためと思われる。また、樹幹内または林分内個体間のヤング率に変動幅(ばらつき)が大きくなる要因として、MF傾角の違いによることが推定されており⁶⁾、本試験でも各試験

林, 各試験区ともに立木 E_v の変動幅が大きく現れた要因の一つに, 立木個体間のMF傾角の違いが影響したものと思われる。更に, 本試験林のように植栽本数が極端に疎植や密植の状態でない場合に, 肥大成長と立木ヤング率の間に相関関係が認められなかったことと, 既報からMF傾角が品種やクローンの違いによって顕著に表れる遺伝形質であること^{5,18)}を考え合わせると, スギ, ヒノキのヤング率は植栽本数や間伐の影響よりも立木個体の遺伝形質の影響が大きいことが示唆される。これらの点について, 今後, 各試験林で伐倒木や円板試片を採取しMF傾角や容積密度数等を調べ, 前述の考察事項について検証する必要がある。

これらのことから静岡県内のスギ, ヒノキ人工林の大半で実施されていると思われる優良材, 一般材の異なる施業の範囲では, 肥大成長に差が生じた場合でもヤング率への影響はほとんど無いと考えられた。ただし, 本試験でも植栽密度や立木密度が最も小さい試験区では, 胸高直径と立木 E_v 間に負の相関関係が認められているため, 植栽密度が極端に疎の場合や強度間伐を過度に繰り返すことで, ha当たりの植栽本数が極端に少なくなった林分では, 肥大成長によりヤング率が低減することもありうると思われる。一方, 密植した場合や, 間伐を実施しない場合や間伐率が低い場合, 容積密度数がやや増加するものの, MF傾角や晩材率が変わらないためヤング率の向上は期待できないと思われる。更にこの場合, 林分内に劣勢木や被圧木の増加が予想されるが, それらは年輪幅が狭くても, 未成熟材の形成期間が長くなり, 晩材形成が促進されず, 細胞膜肥厚も小さいため容積密度数やヤング率の向上しない立木が多くなるとと思われる。

異なる植栽密度や間伐率による枝節性の違いがヤング率等に及ぼす影響については, 植栽密度(500本/ha～2500本/ha)が異なる林齢40年生のスラッシュパイン製材は, 植栽密度が極端に疎であると節径が大きく節数も増すことが要因となり, 強度性能の低下が生ずるとしている¹³⁾。植栽密度が異なる(750本/ha～3000本/ha, 林齢38年生)ロブローリーパイン製材では, 枝節性の違いにより視覚等級の出現比率が大きく異なるなど, 植栽密度の違いによる影響が現れている¹⁾。また, 間伐, 枝打ちした施業林と無施業林のスギ正角製材を比較した結果では, 施業林が無施業林と比べてJAS目視等級区分で上位等級が多く, 強度性能も大きいことが報告されている⁴⁾。このように, 無施業林より採材された製材では節径比が大きく節の影響による目切れ等の欠点が生じるなど, 枝節性の違いはヤング率や強度性能に影響すると思われる。このため, 今後, 本試験林や枝打ち試験林等における伐

倒木の試験でそれらの影響を解明する必要がある。また, ヤング率や強度性能及び材質に影響する要因として, 施業の履歴以外にも, 地位等の立地条件, 林齢(伐期齢), 遺伝性が挙げられるが, それらがどの程度の割合で関与するのか明らかでなく, 今後解明すべき課題である。

V 摘 要

スギ, ヒノキの間伐試験林内に生育する立木の応力波伝播法によるヤング率と胸高直径を計測し, 異なる植栽密度や間伐率とヤング率との関係を調べた。また, 若齢期のスギ, ヒノキ林分で間伐前後におけるヤング率の変動を同一立木で調べた。スギ, ヒノキともに植栽密度, 間伐率の違いにより胸高直径に顕著な差が認められた反面, それらとヤング率には明らかな関係は認められなかった。若齢期における間伐前後のヤング率変動にも顕著な差が認められず, 施業の違いがヤング率に及ぼす影響は小さいことが示唆された。この要因として, 胸高直径とヤング率との間に負の相関関係が認められず, ヤング率と関連性の大きなマイクロフィブリル傾角が密度管理による肥大成長の影響を受け難い形質であるためと推定された。

謝 辞

本研究を実施するにあたり, 天竜森林組合, 富士市森林組合, 富士市役所, 富士農林事務所, 西部農林事務所, 天竜農林局(旧北遠農林事務所)の関係各位より多大なご協力, ご支援を得た。ここに感謝の意を表する。

引用文献

- 1) Alexander, C. III, Joseph, R.S. Baldwin, V.C. and Bower, E.R.(1994): Effect of initial spacing and thinning on lumber grade, yield, and strength of loblolly pine. Forest Prod. J. 44, Vol.11/12, 14～20.
- 2) Biblis, E. and Meldahl, R. (2006): Flexural properties of small clear specimens obtained from two 20-year-old loblolly pine plantations planted at 6-by 6-foot and 12-by 12-foot spacing. Forest Prod. J. 56, Vol.6, 56～58.
- 3) Cave, I.D. and Walker, J.C.(1994): Stiffness of wood in fast-grown plantation softwoods: the influence of microfibril angle. Forest Prod. J. 44, Vol.5, 43～48.
- 4) 後藤崇志・池淵隆・中山茂生・越智俊之・藤田勝・福島亮(2006): スギ造林木の枝打ち・間伐施業の有無と曲げ強度性能との関係. 日本学大要旨, 56, 31.
- 5) 平川泰彦・藤澤義武 (1995): 精英樹クローンにおける晩材仮道管S2層のマイクロフィブリル傾角と仮道管長との関係. 木材学会誌41, Vol.2, 23～131.

- 6) 平川泰彦・山下香奈・中田了五・藤澤義武(1997) :スギ丸太のヤング率の変動に関わる晩材仮道管S2層のミクロフィブリル傾角と密度の影響.木材学会誌43,Vol.9, 717～724.
- 7) 池田潔彦・山本茂弘・祖父江信夫(2007) : スギ高齢林分の立木ヤング率と樹幹内変動.静林技セ研報, 35, 27～40.
- 8) 伊東隆夫・山口和穂・黒田宏之・島地謙・角谷和男(1980) : ヒノキ及びヒスギの材質に及ぼす植栽密度の影響. 京大木材研究 15,45～60.
- 9) 加納孟(1973) : 林木の材質. 日本林業技術協会, 東京 168pp.
- 10) 久保隆文(1990) : 国産針葉樹材の晩材形成特性. 木材学会誌29, Vol.10, 635～640.
- 11) 古賀伸也・堤壽一・小田一幸・藤本高明(1996) : カラマツの容積密度数と仮道管長におよぼす間伐の影響. 木材学会誌 42, Vol.6, 605～611.
- 12) 王松永・陳建男(1992) : 台湾植栽スギの植栽距離が仮道管長, 年輪幅, 晩材率及び心材率に及ぼす影響について. 木材学会誌38, Vol.7, 645～656.
- 13) Robert, H.M. and Alexander, C. III. and Joseph, R.S. (1997) : ffect of initial spacing on mechanical properties of lumber sawn from unthinned slash pine at age 40. Forest Prod. J. 47, Vol.5, 85～88.
- 14) 坂口勝美(1980) : 間伐のすべて.日本林業調査会, 東京, 16～98.
- 15) 静岡県農地森林部 (1985) : 静岡県民有林スギ・ヒノキ人工林収獲予想表, 静岡, pp146.
- 16) 角谷和男・島地謙・伊東隆夫・黒田宏之(1982) : 異なった密度で植栽されたスギ, ヒノキ材の物性に関する一考察. 木材学会誌28, Vol.4, 255～299.
- 17) Song, Y.W. and Chih, Y.K. (1998) : Dynamic modulus of elasticity and bending properties of large beams of Taiwan-grown Japanese cedar from different plantation spacing sites. J Wood Sci. 44, Vol.1, 62～68.
- 18) 山下香奈・平川泰彦・藤澤義武・中田了五(1997) : スギ18品種の丸太ヤング率の品種間差に及ぼすミクロフィブリル傾角と密度の影響.木材学会誌46, Vol.6, 510～522.