



Title	針葉樹造林上のヤング率の変異
Author(s)	小泉, 章夫
Citation	木材工業, 53(5), 206-211
Issue Date	1998-05-01
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/68153">http://hdl.handle.net/2115/68153</a>
Rights	著作権は日本木材加工技術協会にある。利用は著作権の範囲内に限られる。
Type	article
File Information	53(5)206_1.pdf



[Instructions for use](#)

# 針葉樹造林木のヤング率の変異

小泉章夫\*

## はじめに

木材は生物起源の材料なので、材質のバラツキが大きい。強度特性も、樹種内の変異が大きく、構造材として設計・利用する上で障害となっている。このため、目的に応じて強度等級区分が行われる。ここで、構造材の設計強度は各特性の統計的下限値を基準にするので、区分されたロット内のバラツキは小さいほどよい。等級区分の非破壊指標として、従来、節径比、密度、ヤング率などが用いられてきた。このうち、単独の指標としてもっとも精度が高いのが繊維方向のヤング率であり、グレーディングマシンや縦振動法（共振法）<sup>1)</sup>による製材・丸太のヤング率を指標とした集成材原板などの強度等級区分が行われている。

節などの欠点に起因するバラツキを別にすれば、材質変異は、遺伝変異と環境変異、および両者の交互作用による変異の各成分に分けられる。各種の区分別の変異成分を第1表に整理した。たとえば、実生林分内の個体間の変異は遺伝変異と環境変異の両方を含んでいるが、同じ種苗を用いた林地内の林分間で平均値を比較すると、遺伝変異は相殺されて、林分間の環境変異があらわれる。

第1表 各種の区分における変異成分

区分	区分間の変異の主成分
個体内の部位	遺伝
林分内の個体	遺伝, 環境
林地内の林分	環境
林分	遺伝, 環境
検定林内のソース*1	遺伝
検定林	環境, 遺伝×環境の交互作用

\*1:産地, 家系, クロウンなど。

\*秋田県立農業短期大学附属木材高度加工研究所

遺伝変異の要因としては、産地 (provenance)、家系、クロウン、個体内の部位などを挙げる事ができる。一方、環境変異は、地域、林分、個体間の環境差によって発現する。これらの影響を明らかにして、どの系統やクロウンを造林の種苗として使うのか、どのような自然環境に植栽し、どのような施業によって環境を制御すべきなのかを特定することは年月のかかる作業である。これらは用材生産を目的とした林業において、長期的・究極的な研究目標に挙げることができよう。

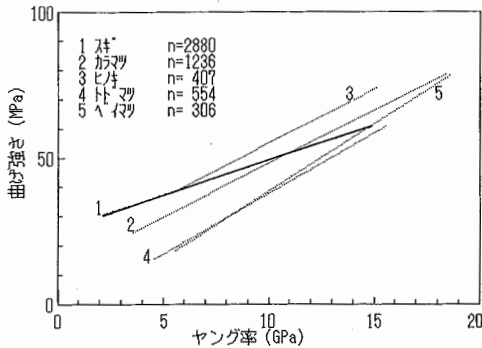
力学特性は単独の形質ではない。マクロなものからミクロなものまで、各段階の組織構造上の特性が関与する複合形質である。それらを列挙すれば、平均密度、年輪幅、繊維長、繊維傾斜、晩材率、早・晩材密度、細胞径と壁厚、二次壁中層のマイクロフィブリル傾角などがある。これらのうち、一つ以上の特性が力学特性の発現に関与するわけだが、組織構造上のどの特性の変異が大きく、力学特性に寄与しているかを明らかにすることも重要な研究課題である。本稿では、代表的造林樹種であるスギとカラマツについて、材質指標としてのヤング率の変異について、要因別に整理を試みた。

## 2. スギのヤング率の変異

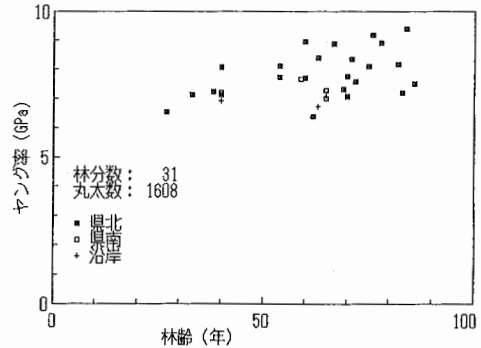
### 2.1 遺伝変異

一般に、強度など材質に関する形質は生長に関する形質より遺伝性が大きいことが知られている<sup>2)</sup>。丸太のヤング率について、藤澤ら<sup>3)</sup>は、精英樹12クロウン間で、遺伝差が大きいと同時に、植栽環境との交互作用は認められないことを報告している。

製材については、曲げ性能を中心として数多くの強度試験が行われてきている。それらの中で、スギの樹種特性として、ヤング率と曲げ強さの関係における回帰直線の傾きが小さい（ヤング率が小さな試料の曲げ強さが大きい、第1図参照）こ



第1図 針葉樹製材のヤング率の範囲と曲げ強さとの関係<sup>4)</sup>



第2図 秋田スギ林分の林齢と丸太ヤング率(林分平均値)の関係

とが指摘されている<sup>4, 5)</sup>。ただし、秋田県産スギ材のひき板においては、そのような傾向は認められていない<sup>6)</sup>。

これに関連して、スギの品種間で、曲げや縦圧縮におけるヤング率と強度の比が異なることが報告されている<sup>7-9)</sup>。また、既往の実験におけるスギの試験体は柱材(心持正角材)が多いのだが、それらに多く含まれる未成熟材の影響も考慮する必要があるだろう。スギの未成熟材のヤング率は成熟材に比べて小さいのに対し、曲げ強度は未成熟材・成熟材間で大差が見られないため、ヤング率に対する曲げ強度の比は未成熟材で大きくなるからである<sup>10)</sup>。

欠点影響を除いた強度特性は、無欠点小試験体について測定できる。これまでに行われた無欠点小試験体の強度試験の量は膨大なものと想像されるが、それらのうち、1990年までに行われた233試験グループの結果について、鈴木<sup>11)</sup>がまとめている。その中で、品種間の遺伝変異、自然・人為環境の影響が認められること、さらに遺伝と環境の交互作用の存在も示唆されている。

個体内の変異については、先に述べたように髄周辺の未成熟材のヤング率が成熟材に比べて小さい<sup>10, 12)</sup>。高さ方向では、1番丸太のヤング率が、2番玉に比べて、小さいことが報告されている<sup>8)</sup>。しかし、秋田県産のスギ材では比較的樹齢が大きく、丸太材積に占める未成熟材の割合が小さいこともあって、その影響は顕著ではない<sup>6, 13)</sup>。

## 2.2 環境変異

第2図は、秋田県内全域で測定した丸太ヤング

率の林分平均値を地域、林齢との関係で示したものである。林齢の若い林分では未成熟材の比率が増えるので、林齢とヤング率の間には正の相関が認められる。したがって、林分間の比較は林齢の近いもの同士で行う必要がある。

図において同齢の林分間の差は遺伝差と環境差の両方を含んでいるが、育種種苗を用いていないので、主として自然環境の差による変異が顕れていると考えられる。植栽密度や除間伐などの施業方法には大差がないので、人為的な環境制御の影響は小さいだろう。

秋田県北部から内陸の田沢湖町にかけての林地は、秋田県南部より寒冷で雪質などが異なることから、生長や樹形に差があると言われている。それらの違いによって、秋田県を県北、県南、沿岸の3地域に区分できるとされており、強度特性に差があることも予想される。第2図では、県北地域に比べて県南や沿岸のものが小さいようにも見えるが、顕著ではない。むしろ、同一地域であっても、林分間のバラツキが大きいといえる。これは主として林分間の土壌、斜面状態、標高などの環境差によるものと考えられる。

## 2.3 変異に寄与する組織構造上の形質

小田ら<sup>9)</sup>は12品種についての測定結果から、晩材仮道管長に品種間差があることを報告した。同時に、品種を込みにしたとき、晩材仮道管長と密度の間に負の相関が、晩材率あるいは密度と縦圧縮強さの間に正の相関が、それぞれ、認められることを明らかにした。藤澤ら<sup>14)</sup>は年輪構造、早・

第2表 秋田県産スギ材のヤング率の変動係数

区分	供試区分数	試験体	試験体数	CV(%)	CV比
個体内の丸太 <sup>*1</sup>	4,5	厚板	447	11.2	0.900
林分内の個体 <sup>*2</sup>	4-17	丸太	745	6.5	0.559
林分内の個体 <sup>*1</sup>	5-10	厚板	605	11.8	0.803
林分内の玉番号 <sup>*2</sup>	2	丸太	745	11.6	0.993
林分内の玉番号 <sup>*1</sup>	2	厚板	605	14.9	1.013
県内の林分 <sup>*3</sup>	31	丸太	1608	12.3	0.725
県内の林分 <sup>*1</sup>	3	厚板	605	14.7	0.817
県内の玉番号 <sup>*2</sup>	2	丸太	745	14.5	1.011
林分内の加 <sup>*4</sup>	23	丸太	199	7.6	0.539

CV:区分内の変動係数平均値, CV比:区分を込みにしたときの変動係数に対する比.

\*1:県内3林分, 個体と玉番号が既知の厚板<sup>\*)</sup>.

\*2:県内19林分, 個体と玉番号が既知の丸太.

\*3:県内31林分の丸太, \*4:精英樹検定林の1番玉.

晩材密度のクローン間差を調べた。さらに、平川らの一連の研究<sup>15~17)</sup>は、スギの組織構造上の特性のうち、仮道管長と比べて、晩材仮道管の二次壁中層のマイクロフィブリル傾角の遺伝性が大きく、クローン間差が認められることを明らかにした。同時に、樹幹内半径方向でマイクロフィブリル傾角が漸減する領域は、仮道管長などの変化領域が円柱上に分布するのと異なり、円錐台状に分布すること、そのパターンにも品種などの遺伝差があること、マイクロフィブリル傾角と密度をパラメータに用いた重回帰式によって丸太のヤング率を推定できることを報告した。これらの知見は、未成熟材の樹幹内分布が円錐台状であるとした中谷<sup>12)</sup>の報告や、一番玉のヤング率が小さいことを説明すると考えられる。

## 2.4 各種の区分におけるバラツキ

等級区分に有効なロットを考える上で、林分や個体といった区分内のバラツキを定量的に明らかにしておくことは有用である。九州におけるよなさし木造林の場合は、林分内のバラツキは単的な環境変異のみで小さいものと想像されるが、実生林分では、環境変異に加えて遺伝変異が含まれる。ただし、同一林分では、同じ採種園や採種林からの種苗を用いているので、林分内の遺伝変異は比較的小さいと想像できる。

第2表は秋田県産のスギ材の、各種の区分におけるヤング率の変動係数を比較したものである。ここで、ヤング率はすべて縦振動法によって測定した。丸太ヤング率についてみると、林分内の変動係数は約12%であり、31林分を込みにしたとき

の17.0%に比べて3割近く減少する。さらに個体で区分したときの変動係数は、個体内の遺伝変異のみが関与するので、6.5%と小さく、林分内の丸太の変動係数より4割以上減少した。検定林におけるクローン内(ラメート数:6)の変動係数も7.6%であり、個体内のバラツキと同程度に小さい。

2.1で述べたような採材高さによる変化を考えると、丸太や製材を一番玉とそれ以外に2分する方法も考えられる。しかし、バラツキを減じる目的では、玉番号による区分は意味がないことがわかる。

一方、製材(厚板)では局所的な欠点や当該木部形成時の形成層年齢の違いによる半径方向の材質変化があるため、丸太に比べてバラツキは大きい。それでも、丸太の場合と同様、製材を林分、さらに個体で区分することによって、変動係数は減少する。ただし、個体をさらに丸太で区分してもバラツキは減少しないことが、表からわかる。曲げ強さについては、ヤング率に比べてさらにバラツキが大きくなるが、類似した傾向が看取された<sup>6)</sup>。

以上を整理すると、スギ構造用原木の現実的なロットの単位として、林分ごとに区分することが材料のバラツキを管理する上で有効だと考えられる。ただし、未成熟材の占める割合が大きくなる若齢木や間伐木では、採材高さによる区分も必要かもしれない。

## 3. カラマツのヤング率の変異

### 3.1 遺伝変異

カラマツにおいても強度特性の遺伝性は大きい。たとえば、密度と晩材率に関して、形成層年齢15年以下のコア材と、それより外側のアウター材間の遺伝相関は、生長形質を代表する年輪幅に比べて大きい<sup>18)</sup>。ヤング率については、精英樹56クローン間で有意差が認められ、かつ胸高直径とは独立の形質であることがわかった<sup>19)</sup>。カラマツはさし木が困難なため、実生で更新されるので、狭義の遺伝率が大きいことが望ましい。これに関して、精英樹の次代検定林において家系間差が認められたが、有意な親子相関は認められなかった<sup>20)</sup>。

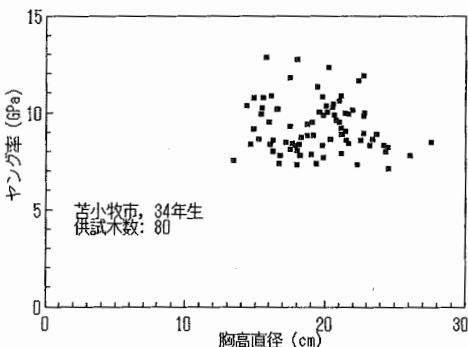
カラマツは隔離分布する樹種特性をもつことから、各種の形質について、産地間差<sup>21-23)</sup>が報告されており、ヤング率についても産地間差が認められる<sup>24)</sup>。力学的特性（ヤング率と密度）については、カナダを含む試験地間で相互関係が認められ<sup>25)</sup>、環境との交互作用は小さいものと考えられる。

個体内の変異として、未成熟材領域で比ヤング率が小さい傾向がある<sup>26)</sup>。樹高方向の変動傾向は、とくに認められない。

### 3.2 環境変異

1林分内で毎木的に測定した胸高直径と樹幹ヤング率の散布図の一例を第3図に示した<sup>27)</sup>。ここで、樹幹ヤング率とは、体重負荷方式の立木曲げ試験<sup>28)</sup>によって測定される立木の胸高部位付近の曲げヤング率である。直径の大きなものでは大きなヤング率の個体は出現しないが、両者の間に有意な負の相関は認められず、強度特性と肥大生長は局所的な環境因子に対して、比較的独立に反応することがわかる。

同一林地内であっても、斜面方位や風当たり条件などの自然環境が異なる林分間で、樹幹ヤング率に高度な有意差が認められる<sup>29, 30)</sup>。カラマツの強度特性にとって「よい環境」を定量的につかむことは難しいが、日照条件や風当たり条件の良いところでは生長が良く、かつ優れた材質の林木を期待できる。このような特性はすべての造林樹種についてあてはまるものではない。スギ、トドマツに関する同様の調査では、風当たり条件の差によって、生長には差が生じるが、樹幹ヤング率の差は認め



第3図 カラマツの1林分内の胸高直径と樹幹ヤング率の関係<sup>27)</sup>

られなかった<sup>30)</sup>。

施業による環境の制御によっても、材質への影響が考えられる。古賀<sup>31)</sup>は、間伐によって肥大生長を促進した場合、早材幅とともに晩材幅も増加するので、晩材率や密度に影響しないことを報告している。

### 3.3 変異に寄与する組織構造上の形質

先に述べたように、カラマツではヤング率の産地間差が認められる。その下位形質は晩材率や密度だと考えられた<sup>32)</sup>。なぜなら、北海道の枝幸試験地の間伐材で、ヤング率に産地間差が認められなかったにも拘らず、密度に産地間差が認められたからである。同時に、枝幸試験地の産地別平均密度は、産地間差が有意であった清水試験地の樹幹ヤング率と順位相関が認められた。密度に寄与する組織構造上の因子としては、晩材率の寄与が大きいとされている<sup>33)</sup>。野堀<sup>34)</sup>は6クローン各10個体について、軟X線デントメトリ法による年輪解析を行い、早・晩材密度の遺伝差は小さく、晩材率の遺伝差が大きいことを明らかにした。

このほか、カラマツの樹種特性として、未成熟材部の繊維傾斜が大きいことが挙げられる。三上<sup>22)</sup>は繊維傾斜の産地間差を報告しているが、ヤング率の産地間差<sup>24)</sup>との間に相関は認められない。心持正角材に関する試験結果においても、繊維傾斜は振れ量との相関は大きいものの、曲げ性能との相関は認められなかった<sup>26)</sup>。カラマツの繊維傾斜は、半径方向の変動パターンの変異も大きく、製材の強度特性に直接の影響はないと考えられる。

### 3.4 各種の区分におけるバラツキ

第3表は北海道産カラマツ材のヤング率の、区分別の変動係数を整理したものである。ここで、立木のヤング率は立木曲げ試験によって、正角材については4点曲げ試験における荷重点間のたわみから、それぞれ、求めた。表中の区分で「林地内の林分」は同じソースの種苗を用いているので、林分平均値間の変異成分は、環境変異が中心になると考えられる。これに対して、北海道全域の林分間では、環境変異が大きいことに加えて、種苗

第3表 北海道産カラマツ材のヤング率の変動係数

区分	供試区分数	試験体	試験体数	CV(%)	CV比
林地内の林分 <sup>*1</sup>	3-5	立木	234	12.3	0.817
道内の林分 <sup>*1</sup>	16	立木	234	12.3	0.660
道内の林分 <sup>*2</sup>	5	正角材	443	16.0	0.775
林分内のクマツ <sup>3)</sup>	26,67	立木	294	8.1	0.499
林分内の家系 <sup>20)</sup>	10	立木	299	13.3	0.905
林分内の産地 <sup>24)</sup>	19	立木	113	12.4	0.857

CV, CV比: 第1表と同じ。

\*1: 三差守川(柳野山林<sup>29)</sup>, 北大苫小牧地方演習林<sup>27, 28)</sup>, 北大松山地方演習林<sup>30)</sup>, 標茶バィウトリス<sup>32)</sup>の4林地16林分における樹幹ヤング率測定値による。

のソースが異なるので、遺伝変異も顕れる。林分内の樹幹ヤング率の変動係数はスギ丸太の場合と同様に約12%であり、林分単位で区分することで、環境変異だけについても2割程度、バラツキを減じることができることがわかる。

製材の強度のバラツキは樹幹内半径方向の材質変動を含むために、丸太や立木に比べて大きくなる。とくに、陽樹であるカラマツでは、初期生長が旺盛なために髄周辺の年輪幅が広いことも影響して、未成熟材部と成熟材部の強度差はスギに比べて顕著である。橋爪ら<sup>35)</sup>は、このことを考慮して、丸太のヤング率による等級区分に木取り位置による区分を併用すると、集成材ラミナの区分に有効であると述べている。

#### おわりに

強度特性の指標としてのヤング率の変異の大きさと成分について、概観した。代表的な造林樹種であるスギとカラマツの2樹種において、遺伝・環境変異は大きく、生長形質との独立性も高いことがわかる。これらの知見は材質育種の可能性を支持するものである。この分野では、立木あるいは丸太のヤング率を強度特性の遺伝・環境変異を評価する際の指標に用いることができる。いずれの指標も節などの欠点の影響は小さく信頼性が高いが、丸太のヤング率が未成熟材を含んだ断面平均値であるのに対し、樹幹ヤング率は樹皮周辺の値に加重されることに留意する必要がある。

2樹種ともに林分内の樹幹・丸太のヤング率の変動係数は約12%と小さい。造林木を構造材として利用するには、遺伝・環境変異が比較的小さいロットとして、林分が適当であることが窺える。

2樹種ともに同一試験地のクローン内のヤング

率の変動係数は8%程度である。木材強度のバラツキとしてはきわめて小さく、さし木などによるクローン林業の有効性を示唆するものである。

このように、各種の区分におけるヤング率の変異の大きさには2樹種で共通性がみられるが、強度特性に寄与する組織構造上の特性は樹種によって異なる。スギでは密度とマイクロフィブリル傾角、カラマツでは晩材率の寄与が大きいと考えられるほか、NZのラジアタパインでは早材密度に着目した選抜育種が行われている。

ヤング率を強度のパラメータとする際、スギと他の樹種で共通の回帰式を使えないことが指摘されている。これについては、等級区分の中で、未成熟材・成熟材を区別する必要があるかもしれない。

#### 引用文献

- 1) Sobue, N.: *Mokuzai Gakkaishi*, 32, 744-747 (1986)
- 2) Zobel, B., Talbert, J.: "Tree Improvement", John Wiley & Sons, 1984
- 3) Fujisawa, Y. et al.: *Mokuzai Gakkaishi*, 38, 638-644 (1992)
- 4) 飯島泰男: "構造用木材-強度データの収集と分析", 日本木材学会木材強度・木質構造研究会編, 1988, pp.1-52
- 5) 小松幸平: "スギ材の構造的利用の方向と問題", 日本木材学会木材強度・木質構造研究会編, 1988, p.16
- 6) 小泉章夫, 飯島泰男, 佐々木貴信, 岡崎泰男: *木材学会誌*, 43, 210-214 (1997)
- 7) 佐々木光, 角谷和男, 瀧野真二郎: *木材研究・資料*, No.17, 192-205 (1983)
- 8) 長尾博文: "活かそう!スギ", 日本木材学会組織と材質研究会, 木材強度・木質構造研究会編, 1990, pp.11-15
- 9) 小田一幸, 渡部演一, 堤壽一: *九大農演報*, 62, 115-126 (1990)
- 10) 太田貞明: "木材の科学と利用技術II 5.スギ", 日本木材学会スギ分科会編, 1991, p.24
- 11) 鈴木滋彦: "木材の科学と利用技術II 5.スギ", 日本木材学会スギ分科会編, 1991, pp.68-74.
- 12) 中谷浩: 富山県林業技術センター研究報告, No.4, 1-54 (1991)
- 13) 小泉章夫, 飯島泰男, 佐々木貴信, 川井安生, 岡崎泰男, 中谷浩: *木材学会誌*, 43, 46-51 (1997)
- 14) Fujisawa, Y., Ohta, S., Tajima, M.: *Mokuzai Gakkaishi*, 39, 875-882 (1993)

- 15) 平川泰彦, 藤澤義武: 木材学会誌, 41, 123-131 (1995)
- 16) 平川泰彦, 藤澤義武: 木材学会誌, 42, 107-114 (1996)
- 17) 平川泰彦, 山下香葉, 中田了五, 藤澤義武: 木材学会誌, 43, 717-725 (1997)
- 18) 小泉章夫: "The・カラマツ", 日本木材学会木材強度・木質構造研究会編, 1989, pp.25-36.
- 19) 小泉章夫, 高田克彦, 上田恒司, 片寄礒: 木材学会誌, 36, 98-102 (1990)
- 20) 小泉章夫, 高田克彦, 上田恒司: 木材学会誌, 36, 704-708 (1990)
- 21) 三上進: 林木の育種, 66, 2-5 (1971)
- 22) 三上進, 長坂寿俊: 日本林学会誌 56, 228-230 (1974)
- 23) 長坂寿俊: 北海道の林木育種, 35, 36-41 (1992)
- 24) 高田克彦, 小泉章夫, 上田恒司: 木材学会誌, 38, 222-227 (1992)
- 25) 小泉章夫: 林木の育種, No.168, 12-13 (1993)
- 26) 小泉章夫, 上田恒司, 片寄礒: 北大演習林研報, 44, 327-354 (1987)
- 27) 小泉章夫, 高田克彦, 上田恒司: 第42回日本木材学会大会要旨集, 136 (1992)
- 28) 小泉章夫, 上田恒司: 木材学会誌, 32, 669-676 (1986)
- 29) 小泉章夫, 上田恒司: 木材学会誌, 33, 450-456 (1987)
- 30) 小泉章夫, 高田克彦, 上田恒司: 北大演習林研報, 46, 441-450 (1989)
- 31) Koga, S.; Oda, K.; Tsutsumi, J.; Fujimoto, T.: IAWA Journal, 18, 281-290 (1997)
- 32) 小泉章夫, 岩山英司, 上田恒司: 第44回日本木材学会大会要旨集, 501 (1994)
- 33) 千葉茂, 永田義明, 幸田秀穂: 北海道の林木育種, 23, 13-16 (1980)
- 34) 野堀嘉裕, 永田義明, 千葉茂: 日本林学会北海道支部論文集, 36, 105-107 (1988)
- 35) 橋爪丈夫, 吉田孝久, 石原茂久: 木材学会誌, 43, 647-654 (1997)

(1998.2.25受理)