

木材表面あらさの官能評価と物理的評価の関係

佐道 健・竹内正宏・中戸莞二

Relationships between sensory and physical evaluations
of wood surface roughness.

Takeshi SADOH, Masahiro TAKEUCHI, and Kanji NAKATO

要 旨

官能的に評価された木材の表面粗さが、客観的に測定できる木材の材質特性値とどのように関連しているかを、主成分分析法を用いて解析した。その結果官能的な木材の粗さは触針法で測定される H_{max} によって大部分が説明でき、針葉樹材では年輪に基づく凹凸の深さとピッチが、広葉樹材では道管縦断面に基づく凹凸の深さとともに材の比重が官能的な粗さに影響することが明らかになった。

1. 緒 言

木材の材質特性で人間の感覚によって評価されるものは少なくない。木材の感触と木材表面の組織構造およびすべり摩擦係数の関係を検討した鈴木¹⁾の報告にもみられるように、これらの官能特性は木材の組織構造、物理的性質などの客観的に評価できる特性と深い関係がある。

居住環境材料としての木材を考えると、上に述べたような木材の官能特性の解析、とくにその客観的評価法の検討は非常に重要であると考えられるが、この種の研究は僅かしか報告されていない。本研究はその基礎的研究の1例として木材表面の官能的な粗さをとりあげ、これが客観的に測定しうる木材の材質特性値とどのように関連しているかを、主成分分析法を用いて解析し、官能的特性の客観的評価の可能性を検討したものである。

主成分分析法は、相互に相関のある多種類の特性値(変数)のもつ情報を少数個の総合特性値に要約する統計的手段で、特性値の特徴を解析し、分類するのに有効な手段とされている²⁾。この解析方法が木材の材質評価に用いられている例は少ないが、木材のように複雑な材料の材質評価には有効な手段ではないかと考えられる。なお、本研究では主成分分析の計算には京都大学大型計算機センター FACOM M-190 を使用した。

本研究を行なうにあたり、実験材料として本学農学部木材構造学研究室の材鑑およびプレパレート、表面粗さ計は同林産機械学研究室のものを使用した。これらの使用にあたって種々の便宜をはかっていただいた両研究室、および官能試験に御協力いただいた方々に感謝の意を表します。

2. 実験材料および方法

2.1 試験体

日本木材加工技術協会販布の日本産および外国産樹種標本のうち82種（針葉樹材18種, 広葉樹材64種）について, 1樹種1試験体を用いた。寸法は $1.2 \times 7 \times 10$ cmで, 被験面は板目からまさ目にわたり, 試験体によって一定していない。材表面は手鉋仕上げであるため, 粗さはほとんど材の組織構造に基因するものと考えられる。

2.2 官能試験

全ての試験体について30人の被験者を対象にして, 触感による「あらかさ」*1と「かたさ」を, それぞれつぎのように5段階で評価させた。

「あらかさ」: 1. なめらか 2. ややなめらか 3. ふつう 4. ややあらい 5. あらい

「かたさ」: 1. やわらかい 2. やややわらかい 3. ふつう 4. ややかたい 5. かたい

この他「明るさ」, 「温かさ」, 「重さ」を同時に評価させたが, ここでは解析の対象としていない。

まず全ての試験体を順序不同で被験者に巡回させ, 各項目についておおよそその変動幅を認識させ, 一巡ののちに再び巡回させて, テスト用紙に評価値を記入させた。試験は数人ずつに別けて, それぞれ別の日時, 場所で行なった。各試験体ごとにそれぞれ30人の被験者の評価値の平均値と標準偏差を求めた。

2.3 物理試験

比重と材の表面物性に関与すると考えられる触針法による粗さ, および摩擦係数を測定した。

触針法による粗さは表面粗さ計（小坂式 SE-3 型万能表面形状測定機, 先端半径 $3 \mu\text{m}$ ）を使用し, 試験体表面上を繊維直角方向に2乗平均粗さ (H_{rms}) を5カ所, 1cm にわたる断面プロフィールを3カ所測定し, プロフィールの最大高さ (H_{max}) を求め, いずれも平均値で示した。

摩擦係数は, 摩擦子として 1) 直径11mmの鋼球を3個互に接するように配列したもの, および 2) 直径32mmの鋼板を用いて測定し, 垂直荷重17.2gで試験体の繊維直角方向に摩擦子を2cm/minで滑らせたときの静および動摩擦係数を求めた。なお鋼球を摩擦子とした動摩擦係数の値は試験体間で有意差が認められなかったため, 解析には用いなかった。

2.4 組織計測

針葉樹材については平均年輪幅および試験体の被験面に現われた年輪についての平均幅を測定した。正しく板目になっていた1個の試験体については, 被験面上での年輪幅が求められなかったため, 針葉樹材だけの解析には用いなかった。

広葉樹材については, 試験体と同一樹種の木口断面の顕微鏡用プレパラートから15倍に拡大した写真を用いて, 写真上に現われた最大道管直径および散点法によって道管の容積割合を求めた。これらの値から, 大きい道管間の間隔を示す指標をつぎのようにして求めた。

$$\text{道管間隔指数} = (\text{最大道管直径})^2 / \text{道管容積割合}$$

*1 本報中で官能的な特性は「 」を付けて表記してある。

3. 結果および考察

3.1 特性値間の相関関係

全試験体について組織計測値を除く特性値相互間の相関係数 (r) を求めた。結果は、Table 1 に示すように「あらさ」と高い相関関係にあるのは、触針法による粗さ H_{max} ($r=0.66$), H_{rms} ($r=0.64$), ついで鋼板との動摩擦係数 ($r=0.30$) および比重 ($r=0.29$) である。これ以外の組合わせで相関の高いのは比重と「かたさ」 ($r=0.89$), H_{rms} と H_{max} ($r=0.89$), 鋼板での動摩擦係数と静摩擦係数 ($r=0.64$) で、これらの結果はそれぞれの特性値の性格からいって当然であろう。

Table 1 Coefficient of correlations for whole specimens

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
1. Sensory roughness	1.00							
2. Sensory hardness	-0.18	1.00						
3. Specific gravity	-0.29	0.89	1.00					
4. Roughness, H_{rms}	0.64	0.07	-0.16	1.00				
5. Roughness, H_{max}	0.66	0.19	-0.03	0.89	1.00			
6. Static friction coefficient (steel ball)	-0.02	-0.40	-0.37	-0.18	-0.23	1.00		
7. Static friction coefficient (steel plate)	-0.19	0.08	0.08	-0.14	-0.18	0.23	1.00	
8. Kinetic friction coefficient (steel plate)	-0.30	-0.02	0.06	-0.30	-0.35	0.09	0.64	1.00

「あらさ」と、これと最も相関の高い特性値 H_{max} の関係を図示すると Fig. 1 のようになる。ここで針葉樹材と広葉樹材では明らかに異なるパターンで分布しており、針葉樹材では H_{max} の範囲が21~50 μm の比較的狭い範囲 (広葉樹材では31~262 μm) に分布するも拘らず、「あらさ」は1.4~3.8のかなり広い範囲 (広葉樹材では1.1~4.6)

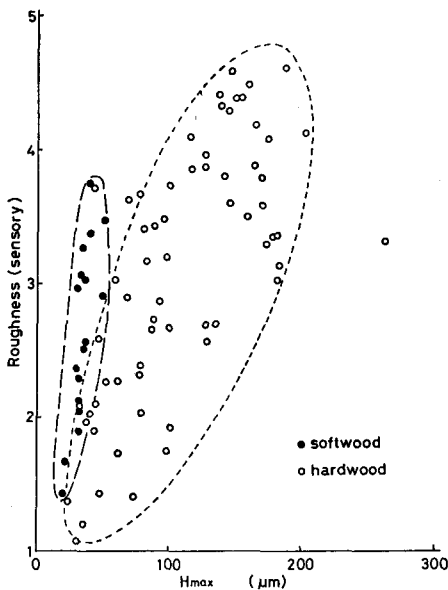


Fig. 1. Relation between sensory roughness and H_{max} .

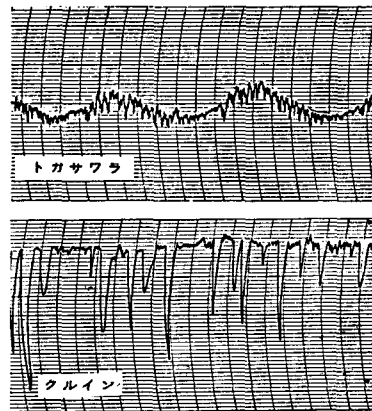


Fig. 2. Comparison between surface profiles for typical softwood (top) and hardwood (bottom) giving same sensory roughness.

に分布する。このように、針葉樹材と広葉樹材では「あらさ」に及ぼす H_{max} の影響の異なることが示される。図には示していないが、「あらさ」と H_{rm} の関係においても同様の結果が得られた。

また、断面プロフィールについて「あらさ」が約3.5ではほぼ等しい針葉樹材（トガサワラ： $H_{max}=52\mu\text{m}$ ）と広葉樹材（クルイン： $H_{max}=180\mu\text{m}$ ）を比較してみると、Fig. 2 に示すように、プロフィールのパターンに特徴的な違いが認められる。この断面プロフィールから、針葉樹材では早晚材の違い、おそらく目やせに基づく凹凸が、一方広葉樹材では道管に基づく凹凸が粗さの感覚に寄与していると思われる。

このような結果から、針葉樹材と広葉樹材は別々に解析した方がよいと思われ、また年輪幅、とくに大きい道管直径を粗さに関与する特性値として取上げることが妥当であると考えられる。

3.2 針葉樹材の表面粗さ

針葉樹材 17 試験体についての組織計測値を含む 10 種の特性値（変数）を用いて主成分分析を行ない、第 1、第 2、第 3 主成分 (z_1, z_2, z_3)^{*2} に対する各特性値の因子負荷量^{*3} を求め、Fig. 3 にプロットした。ここで各主成分の寄与率は $z_1:0.37, z_2:0.21, z_3:0.15$ で、 z_3 までの累積寄与率は 0.73 であった。

この図でそれぞれの特性値の位置を表すベクトル（10変数であるから10次元ベクトル）相互間の角度の余弦が相関係数であるから、半径1の円周付近にあって互に近い位置にある点は正の相関の高いことを示している。Fig. 3 の結果は H_{max} と年輪幅はいずれも「あらさ」とかなり高い相関にあり（「あらさ」との相関係数 $H_{max}:0.77$, 年輪幅:0.71）、 z_1-z_3 面上ではこれら3特性値は近接するが、 z_1-z_2 面上では H_{max} と年輪幅の位置がかなり離れており、それぞれある程度独立して「あらさ」に影響していることを示している。

つぎに「あらさ」と H_{max} の2変数について主成分分析を行ない、第1主成分軸、すなわち「あらさ」と H_{max} が共に増大する方向（Fig. 4, z'_1 ）を求め、

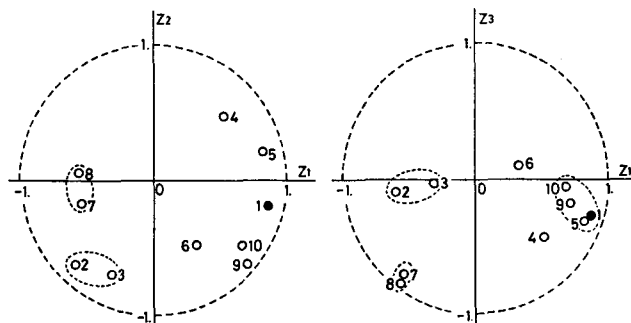


Fig. 3. Relations between principal components (z_1, z_2, z_3) and loading factors for softwood.

1-8. see Table 1, 9. annual ring width, 10. annual ring width appeared on wood surface.

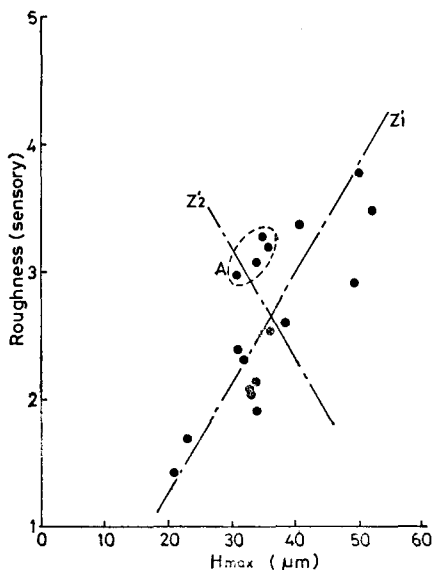


Fig. 4. Relation between sensory roughness and H_{max} for softwood specimens.

*2 第1主成分とは、 p 次元（ここでは10変数であるから10次元）空間に散らばる測定点（ここでは17試験体であるから17点）の各々から任意の直線に垂線をおろすとき、その垂線の長さの2乗和が最小になるような直線を軸とする座標系で、したがって測定点の分散が最大となるような座標系である。第2主成分は第1主成分と直交する直線で、測定点からこの直線におろした垂線の2乗和が最小になるような直線を軸とする座標系である。このようにして順次第3、第4、……主成分を求めることができる。

*3 主成分 z_k と元の特性値の相関係数を z_{k} に対するその特性値の因子負荷量という。したがって z_k に対する因子負荷量の大きい特性値群は z_k の値で共通して評価できることになる。

測定点がこの軸から離れて位置する原因を調べた。第2主成分軸 (z'_2) は「あらさ」と H_{max} が逆相関で変化する方向で、他の特性値のうち z'_2 と高い相関にあるのは鋼球との静摩擦係数 ($r=0.63$) であり、この値の大きい試験体 (A 群) が Fig. 4 で z'_1 から離れて位置することがわかった。この摩擦係数は年輪に基づく凹みから球が抜け出るに必要な力によって決まり、ピッチの大きい凹凸を示すものと考えられる。

以上のことから、針葉樹材では「あらさ」は年輪に基づく凹凸の深さとピッチに関係することがわかる。

3.3 広葉樹材の表面粗さ

広葉樹材 64 試験体について針葉樹材の場合と同様の解析を行なった。Fig. 5 は各特性値の第1~3主成分 (z_1, z_2, z_3) に対する因子負荷量をプロットしたもので、各主成分の寄与率は $z_1:$

$0.39, z_2:0.21, z_3:0.15, z_3$ までの累積寄与率は 0.75 であった。

「あらさ」と相関の高い H_{max} ($r=0.68$), H_{rms} ($r=0.64$), 最大道管径 ($r=0.61$) はいずれも図上で近接した位置を占め、これらの特性値がほぼ同じ要因、すなわち道管に基づく凹凸によって「あらさ」に影響していることを示している。

つぎに、このような道管の凹凸以外の因子をみるため、針葉樹材

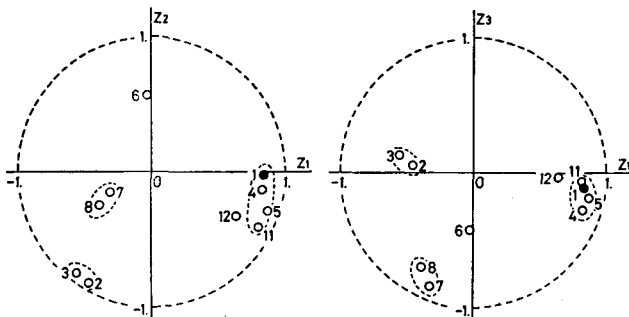


Fig. 5. Relations between principal components (z_1, z_2, z_3) and loading factors for hardwood. 1-8. see Table 1, 11. maximum vessel diameter, 12. intervacular distance index.

の場合と同様「あらさ」と H_{max} の2変数について主成分分析を行ない、測定点在第1主成分 (z'_1) 軸から離れる原因を調べた。「あらさ」と H_{max} が逆相関で変化する方向、すなわち z'_2 の値と相関の高い特性値は認められなかった。そこで「あらさ」と H_{max} の関係を示す Fig. 6 で z'_1, z'_2 軸を描き、 z'_1 軸からとくに離れた位置にある各試験体について、それぞれどのような特徴をもっているかを調べた。

Fig. 6 で B 群はホオノキ, ドロノキ, キリのように軽軟で、鋼球との静摩擦係数の大きい試験体で、 H_{max} が小さいにもかかわらず粗く感じられる。C 群に属するものとしてはケヤキ, ミズナラ, クリがあり、環孔材で夏材のとくに滑らかな材では、 H_{max} , 道管径が大きいにもかかわらず滑らかに感じられる。

広葉樹材で興味あるのは、比重が「あらさ」とかなり高い負の相関 ($r=-0.42$) のあることで、重硬な材が滑らかに、軽軟な材が粗く感

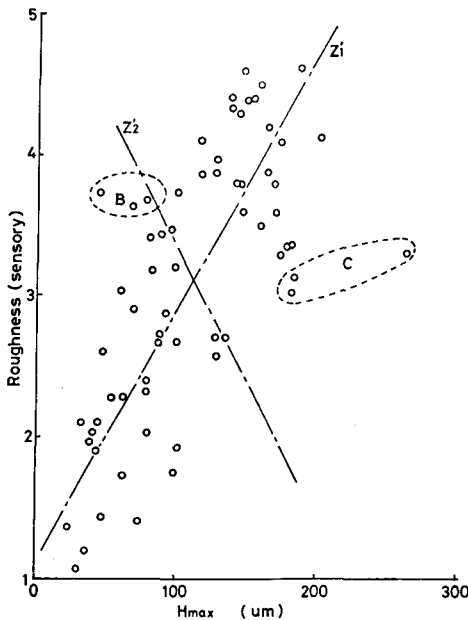


Fig. 6. Relation between sensory roughness and H_{max} for hardwood specimens.

じられることである。比重と「あらさ」の関係で「あらさ」と H_{max} の関係と同様の解析を行なったが、Fig. 7でD, E, Fの各群が z'_2 の絶対値が大きいことが知られた。D (アカガシ) は広放射組織が、E群 (ケンパス, ユーカリ) では交錯木理が表面に現われ、高比重材であっても粗い感覚を与え、またF群 (トチノキ, カツラ) は低比重材であっても小道管が散在しており、材表面の組織の均質さが滑らかな感覚を与えたものと思われる。

3.4 「あらさ」評価の個人差

官能評価では、被験者個人の評価基準の違いから、評価にかなりの個人差が認められることがある。各試験体について「あらさ」の評価値の被験者間での標準偏差はほとんどが1.0未満で、0.8~0.9のものが多かった。しかしいくつかの試験体で1.0以上のものがあり、被験者による評価の異なるものがみられた。

これらの試験体は2つのグループに分けられる。第1のグループはハンノキ、ブナ、アカガシのように広放射組織の発達している材で、緻密な組織構造をもつが、放射組織に基づく凹凸または視覚的要素が被験者によって異なる評価の原因になったものと思われる。第2のグループは板目ないし追まさ面が被験面に現れた環孔材で、夏材部が比較的広い試験体である。これらの試験体では、滑らかな夏材部と粗い孔部が著しく対照的で、被験者によっていずれか一方に重点を置いて評価したものと思われる。

4. 結 論

官能的な木材の「あらさ」は触針法によって測定される H_{max} と高い相関があり、「あらさ」は H_{max} によって大部分が説明できるが、両者の関係は針葉樹材と広葉樹材ではかなり異なっている。針葉樹材では年輪に基づく凹凸の深さとピッチが、広葉樹材では道管縦断面に基づく凹凸の深さと共に、材の比重が官能的な粗さに影響する。

(本研究の概略は第27回日本木材学会大会、昭和52年4月(京都)、において発表した。)

文 献

- 1) 鈴木正治：木材表面の物理的性質に関する研究 I 木材および他材料の表面の感触と皮膚の模型によるすべり摩擦係数との関係、林試研報, No. 231, 1, (1970)
- 2) 奥野忠一 他3名：多変量解析法、日科技連 (1971)
- 3) 太田貞明, 木下叙幸：主成分分析による南洋材の用途に応じた樹種区分、林試研報, No. 288, 59 (1977)
- 4) 日科技連官能検査委員会：工業における官能検査ハンドブック、日科技連 (1962)

Résumé

Sensory roughness of wood surface for 82 wood specimens, 18 softwood and 64 hardwood, was measured and analyzed in relation to the anatomical and physical characteristics

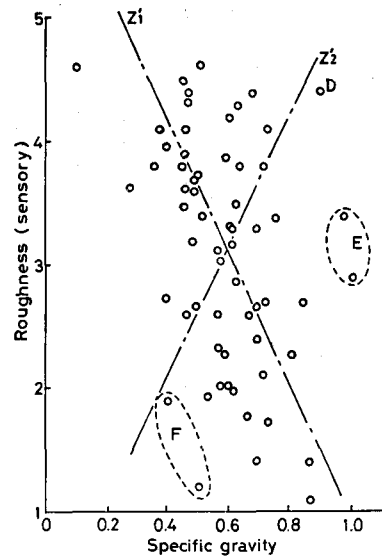


Fig. 7. Relation between sensory roughness and specific gravity for hardwood specimens.

of the specimen by the use of principal component analysis. Although the sensory roughness is highly correlated with the maximum depth determined from the surface profile H_{max} , the relationship between both the characteristics for softwood was found to be different from that for hardwood. The sensory roughness for softwood is mainly due to the depth and pitch of the wave on the surface arising by annual rings, but that for hardwood depends upon the depth of recess produced by large vessels. The specific gravity also affects the sensory roughness for hardwood.