

木質部材における木質感の定量化

Woodiness quantification of wood members

後藤 文彦*・前田 篤志**・薄木 征三***

GOTOU Humihiko, MAEDA Atsushi, USUKI Seizo

*博(工) 秋田大学工学資源学部 助手 (〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町1-1)

**希学園十三本部教室(〒532-0024 大阪市淀川区十三本町1-5-4)

***工博 秋田大学工学資源学部 教授

Wood members are often used for footbridges in intermountain parks under consideration of landscapes in harmony with the surrounding nature and are also used in roadway bridges under recent technical progress of hybrid bridges utilizing glue-laminated timbers and steel members. Since weathered wood members are weak to decay, they are used, antisepticized and painted. However the more thoroughly wood members are antisepticized and painted, the less woody their appearances are. In order to examine threshold extent, to which the antisepticizing and painting lose wood members woody appearance, we try to quantify woodiness of wood members using RGB value analysis and spectral analysis for pictures of wood and non-wood members and carried out questionnaire survey asking woodiness of the pictures. We discuss correlations between the quantificational indices and preference judgements given by the survey.

Key Words : woodiness, quantification, landscape, RGB, spectral analysis

キーワード：木質感、定量化、景観、RGB、スペクトル解析

1. はじめに

周辺の自然景観との調和に配慮して、公園内の歩道橋や山間部の林道橋などに木材や集成材が用いられることは多いが、特に近年は、集成材を鋼板や鉄筋で補強する技術が発達したことで、比較的スパンの長い小・中規模の道路橋にも集成材が用いられる例が増えてきている^{1),2),3),4)}。これは、自然景観に調和しやすいという景観上の利点の他にも、木材の様々な特徴が、実際の木橋架橋例で確認されながら見直されてきているということもあるのではないかと考えられる。

例えば木材は製造時の炭素排出量が少なく、自身に炭素を固定する環境に優しい材料であり、単位重量当たりの強度(比強度)が鋼材やコンクリートよりもはるかに大きいために軽量で加工や搬送が容易である。また、地場産の木材を利用することで地域公益性に貢献したり、地域を象徴するモニュメントにもなるなど多くの長所がある。一方、木材の代表的な短所として、風雨に曝された環境では腐食しやすいという難点もあるが、防腐剤を加圧注入するなどの防腐加工の技術が発達し、腐食・腐朽しやすいという短所もかなり改善されてきている。

しかし、このように薬液注入などの防腐加工をし、更に塗装を施した木材・集成材は、一般に色が濃くなり、木目も見えにくくなるため、多かれ少なかれ防腐加工を徹底するほど木材が持つせっかくの質感が失われてしまうというジレンマがある。

また、防腐処理された木材であっても、腐食しない訳

ではないので、雨が直接は当たらないように集成材のアーチリブの上面に銅板の屋根をかけたり、集成材の主桁を鋼床版の屋根で覆ったり、あるいは橋梁全体に屋根をかけてしまう屋根付橋にするなどの工夫がなされている。こうした屋根かけによる防雨対策は、腐食・腐朽防止に対しては非常に有効であるが、屋根の部分が人の視点から木部材を覆い隠しすぎてしまうと、木部材が見えにくくなってしまい、木のぬくもりが感じにくくなるという同様のジレンマもある。

自然な質感ということ以外に木材の持つ多くの長所が見直されてきていることは事実だろうが、それでも、木材の持つ自然な質感は、木部材利用の大きな動機となっており、木材の重要な魅力の一つであろう。

そこで本研究では、木の色合いや木目などが持つ質感(言わば「木らしさ」)が、どの程度まで防腐加工や塗装で見えにくくなっても人は「木らしさ」を感じるのか、どの程度を越えると「木らしさ」を感じなくなるのかの閾となる数値を、何らか^{5),6)}の数値的な指標で表す方法を模索してみたい。

森林景観を画像処理を用いて定量化する研究なども報告されているが^{7),8),9),10)}、ここでは、様々な木材や非木材の部材表面を撮影した二次元画像の色合いと縞成分の特徴を画像処理を用いて客観的に定量化する数値指標を提案する。そして、それらの同じ画像に対して被験者がどのくらい「木らしい」と感じるかのアンケート調査⁶⁾を行い、各数値指標とアンケート結果との相関を考察してみる。

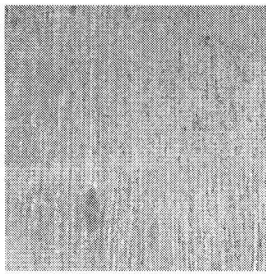


図-1 画像例 1

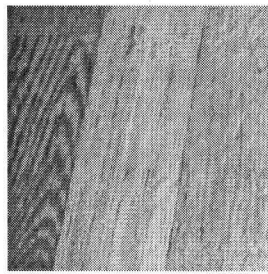


図-2 画像例 2

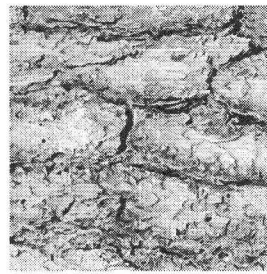


図-3 画像例 3

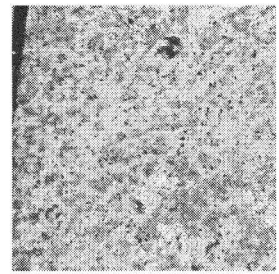


図-4 画像例 4

2. 定量化手法

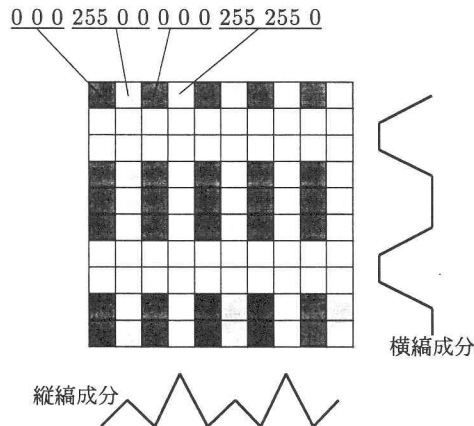


図-5 ppm 形式画像ファイル

解析対象は図-1～図-4に示すような木材や非木材からなる様々な構造・建築部材の内外装の部材表面などを撮影した 256×256 ピクセルのカラー画像 99 枚を用いる。画像から RGB 値を抽出するため、まず画像を ppm 形式に変換する。階調値は $0 \sim 255$ とする。ppm 形式とは、図-5 のように、各ピクセルの RGB の階調値が、スペースを挟みながら、順番に並んでいるデータであり、テキスト形式に変換すると、データをテキストとして読み込んで数値処理を行うことが容易である^{7),8),9),10)}。

まず、色合いに関する数値指標として、 256×256 ピクセルの R 値、 G 値、 B 値それぞれの平均を求め、最小値 0 、最大値 1 で正規化した数値を $\bar{R}$ 、 $\bar{G}$ 、 $\bar{B}$ とする。また、 RGB 値を線形変換

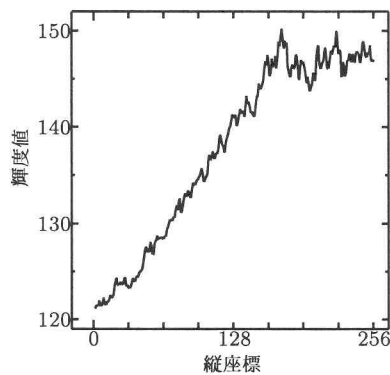


図-6 画像例 1 の横縦成分

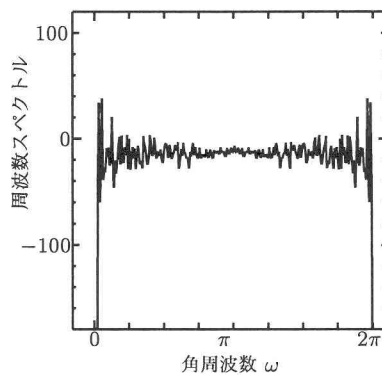


図-7 画像例 1 の横縦スペクトル

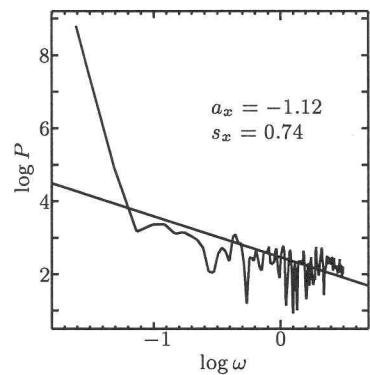


図-8 画像例 1 の横縦パワー

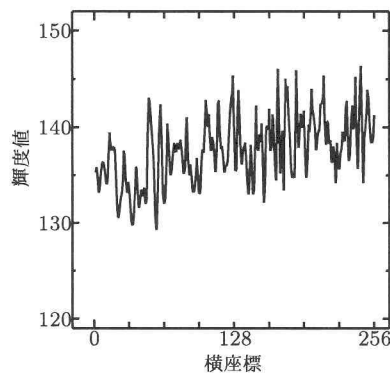


図-9 画像例 1 の縦横成分

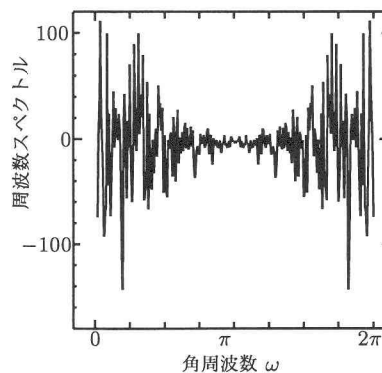


図-10 画像例 1 の縦横スペクトル

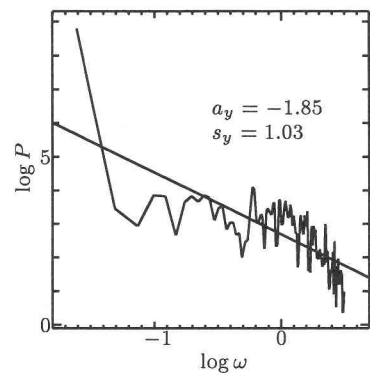


図-11 画像例 1 の縦横パワー

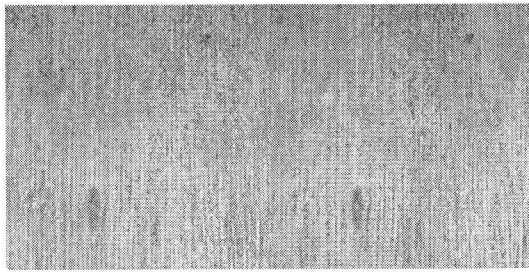


図-12 画像例 1×2 枚

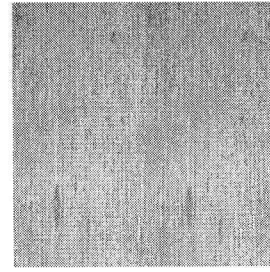


図-13 画像例 1'

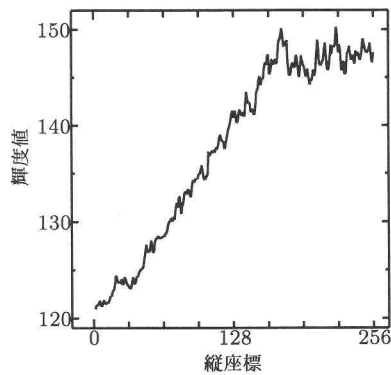


図-14 画像例 1' の横縞成分

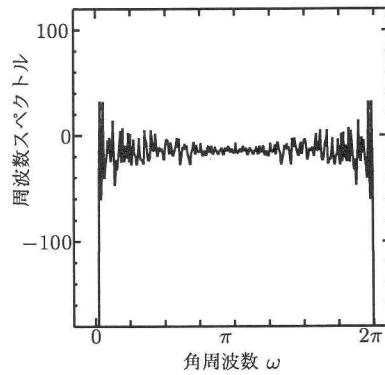


図-15 画像例 1' の横縞スペクトル

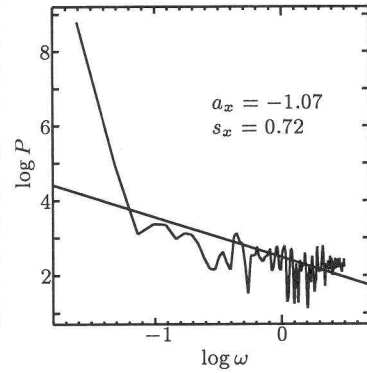


図-16 画像例 1' の横縞パワー

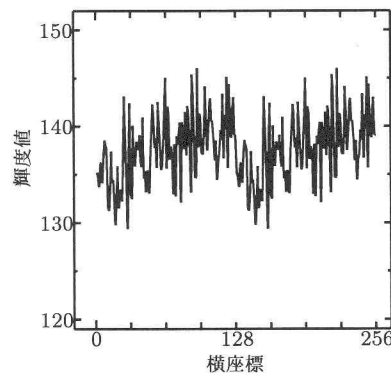


図-17 画像例 1' の縦縞成分

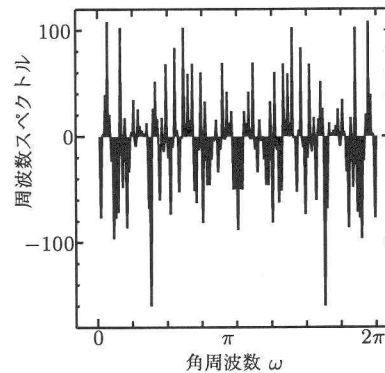


図-18 画像例 1' の縦縞スペクトル

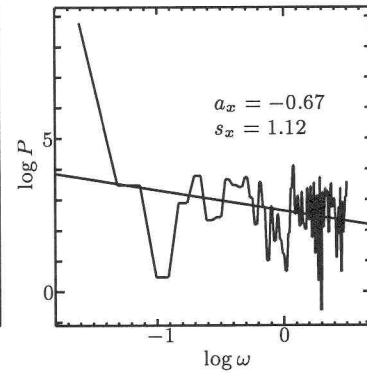


図-19 画像例 1' の縦縞パワー

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0.31 & 0.59 & 0.11 \\ 0.60 & -0.28 & -0.32 \\ 0.21 & -0.52 & 0.31 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (1)$$

で YIQ 値に変換してから Y 値, I 値, Q 値それぞれの平均を求め, 最小値 0, 最大値 1 で正規化した数値を $\bar{Y}$, $\bar{I}$, $\bar{Q}$ とする. Y 値は輝度信号で, グレースケールを得る一つの方法であり, I 値, Q 値は色差信号である. Y 値の標準偏差を s_Y とする. 尚, 色表示のパラメータとしては, RGB や YIQ の他にも, XYZ や $L^*a^*b^*$ やマンセル値など様々な方法がある. これらの方法は, 心理量との関係においてそれぞれに特徴があり, RGB からの変換式がいくつか提案されているものもあるが, 画像データの RGB 階調値から変換するには, 三刺激値やモニターの発色特性を適切に定めなけれ

ばならないといった困難を伴う. 今回は, 同じ機種のモニター画面で被験者にアンケート調査を行うので, モニターの発色特性などは考慮せずに, 画像データの RGB 階調値をそのまま数値指標の計算に用いることとする.

次に, 木目に関する数値指標を算出するため, 画像の縞成分を抽出する. 各ピクセルの Y 値を図-5 のように, 各行ごとに平均して列方向に並べた波形データを横縞成分, 各列ごとに平均して行方向に並べた波形データを縦縞成分とする. 図-1 に対して求めた横縞成分, 縦縞成分を図-6, 図-9 に示す. 木目が縦に走っているので, 横縞成分よりも縦縞成分の方が波立ちが細かく波形の起伏も大きい. この横縞成分と縦縞成分をそれぞれ 1 次元 FFT¹¹⁾ でフーリエ解析し, それぞれの周波数スペクトルを求めたものを図-7, 図-10 に示す. 縦縞成分の方が波立ちの起伏が大きいので, 周波数スペクトルも縦縞の方が大きく現れる. この周波数スペクトルを角周

表-1 数値指標 (例)

	$\bar{R}$	$\bar{G}$	$\bar{B}$	$\bar{Y}$	$\bar{I}$	$\bar{Q}$	a	b	s	s_Y
画像例 1	0.67	0.50	0.31	0.54	0.16	-0.03	-1.48	0.89	0.73	0.06
画像例 2	0.52	0.43	0.28	0.44	0.10	-0.03	-1.08	0.67	-0.06	0.10
画像例 3	0.52	0.52	0.50	0.52	0.00	-0.00	-2.36	1.10	0.31	0.16
画像例 4	0.56	0.57	0.58	0.58	-0.01	-0.00	-1.95	0.94	-0.99	0.12

波数 $\omega = \pi$ の軸で折り返して平均を取り、周波数スペクトルを 2 乗してパワースペクトルにしてから両対数プロットで描き直したものを横縞成分と縦縞成分についてそれぞれ図-8, 図-11 に示す. このパワースペクトルの両対数プロットの回帰直線の傾きと標準偏差^{5),6)}を, 横縞成分に対して a_x と s_x , 縦縞成分に対して a_y と s_y とする. このとき, 横縞成分と縦縞成分の傾きの平均を $a = (a_x + a_y)/2$, 傾きの差を $b = |a_x - a_y|/2$, 標準偏差の平均を $s = (s_x + s_y)/2$ とし, 縞成分を表す数値指標とする. これらの指標は, 解析画像の撮影対象を回転させて撮影した画像に対しては異なる数値を与えるが, 解析画像を 90° 回転させた場合には同じ数値を与える. 例えば, 図-1 の場合は, $a = -1.48, b = 0.73, s = 0.89$ となる.

ここで比較のために, 図-1 を横に 2 枚並べた 256×512 ピクセルの画像 (図-12) を, 横幅を 256 ピクセルに圧縮し, 上下に走る木目 (縦縞) が図-1 に対して約 2 倍となるようにした画像例 1' (図-13) を図-1 の解析例 (図-6 ~ 図-11) と同様に解析した例を, 図-14 ~ 図-19 に示す. 横方向に圧縮したので横縞成分に関しては, 図-6, 図-7, 図-8 とほぼ同様の結果が得られているが, 縦縞成分に関しては, 波立ちの波数がほぼ倍に増えているので (図-17), 周波数スペクトルは高周波成分も卓越し (図-18), パワースペクトルは高周波 (右側) が卓越していることにより (図-19), 回帰直線の傾きは図-1 の縦縞パワースペクトル (図-11) よりも, ややなだらかになり, 標準偏差はやや大きくなっている. 画像例 1' (図-13) の縞成分に関する指標値は, $a = -0.87, b = 0.40, s = 0.92$ となる. 図-1 よりも縦縞成分の高周波が卓越したことで, 縦縞パワースペクトルの回帰直線の傾きが横縞パワースペクトルの回帰直線の傾きに近づき, a, b ともに画像例 1 (図-1) の指標よりも小さくなっている一方, 縦縞の高周波成分の波立ちの起伏が大きくなったことで, 回帰直線の標準偏差 s は画像例 1 の指標よりも大きくなっている.

図-1 ~ 図-4 の画像例に対してこれらの数値指標を算出した例を表-1 に示す.

3. アンケート

図-1 ~ 図-4 に示すような 99 枚の画像に対して, 「木らしさ」を「まるで木に見えない」(1 点), 「あまり

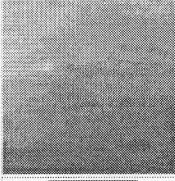
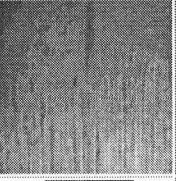
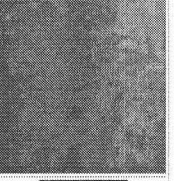
木に見えない」(2 点), 「どちらとも言えない」(3 点), 「まあ木に見える」(4 点), 「木に見える」(5 点) の 5 段階で問うアンケート調査を行った. 被験者は秋田大学の土木環境工学科の 1 年生 56 人で, 情報端末室の同じ端末に表示させた図-20 のようなウェブページ上で選択肢を選ばせてアンケートを行った. 56 人の被

「木材らしさ」の数値指標 (の簡価) の調査 (案)

氏名: _____

ユーザーID: _____

以下の画像は, 様々な建設構造物の壁面や床面, 部材表面などの写真である. 被写体の素材は, 木材, モルタル, プラスチック, 鋼材など, 様々である. 以下のそれぞれの画像について, 被写体が, 「木材っぽい」と見える程度を, 「木に見える」「まあ木に見える」「どちらとも言えない」「あまり木に見えない」「まるで木に見えない」の 5 段階で回答して下さい.

1 「木に見えない」 2 「まあ木に見える」 3 「どちらとも言えない」 4 「木に見える」 5 「まるで木に見えない」

図-20 アンケート調査ウェブページ

験者が 99 枚の画像に与えた点数の平均点と各数値指標との相関を 図-21 ~ 図-30 に示す. 黒い点で示したのは, 平均点の標準偏差が 1.0 以上となる (言わば, 人によって評価に割とばらつきのある) 画像例に対するプロットである. 白丸で示したのは, 平均点の標準偏差が 1.0 未満となる (言わば, 人によって評価のばらつきが割と少ない) 画像例に対するプロットである. 図-1 ~ 図-4 に対応するプロットを図中に 1~4 で示す. いずれの数値指標でも, 指標値とアンケートの評価点数との間とに特に明らかな相関は認められない. 但し, いずれの数値指標においても, 白丸のプロットを見ると, 点数の低い方に分布しており, 「木らしく見えない」という価値判断に関しては, 人によって評価のばらつきが少ないということを表している. 尤も, 点数の高い, つまり「木らしく見える」方の上位二つの画像 (画像例 1, 2) に関しても, 白丸プロットになっている. つまり, 明らかに木にしか見えないような高得点の画像であれば, 人による評価のばらつきは少なくなるということかも知れない.

$\bar{R}, \bar{G}, \bar{B}$ の分布は, 互いにそれほど大きな違いはなく, むしろそれらをグレースケール化した $\bar{Y}$ の分布と似ており, 色の違いは, それほど「木らしさ」の判断

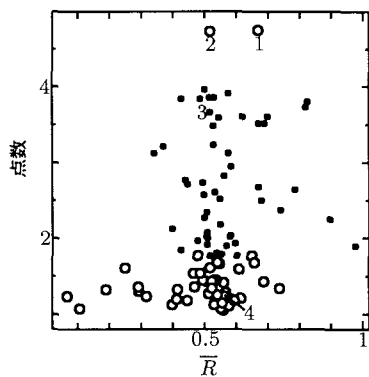


図-21 指標 $\bar{R}$

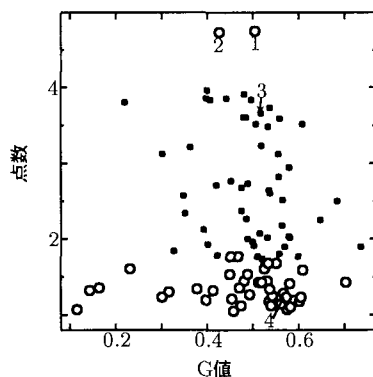


図-22 指標 $\bar{G}$

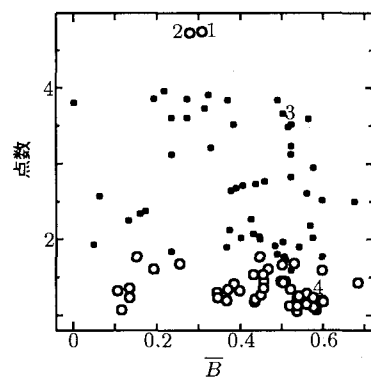


図-23 指標 $\bar{B}$

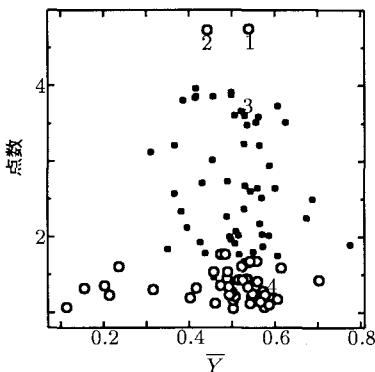


図-24 指標 $\bar{Y}$

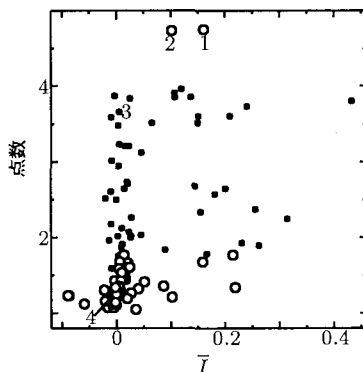


図-25 指標 $\bar{I}$

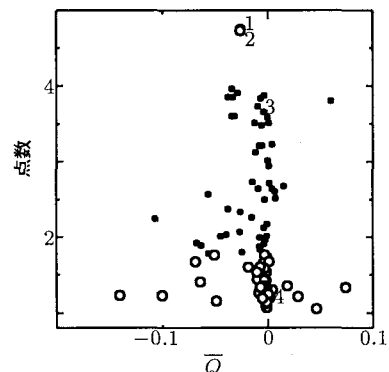


図-26 指標 $\bar{Q}$

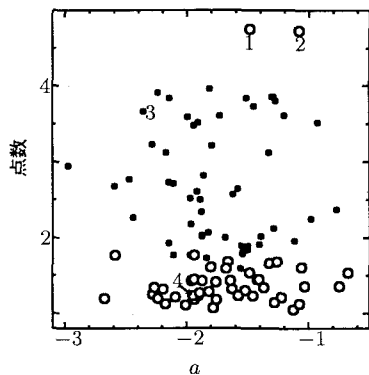


図-27 指標 a

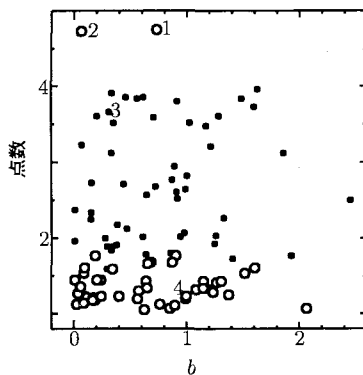


図-28 指標 b

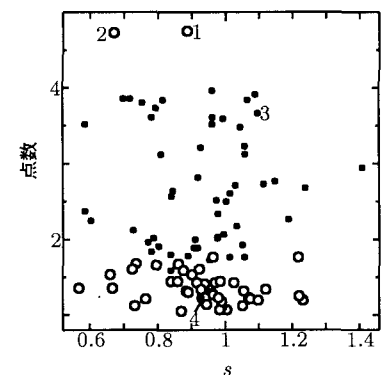


図-29 指標 s

に影響を与えていないということかも知れない。グレースケールのばらつき具合を表す s_Y (図-30) の分布を見ると、分布がおおよそ3本に枝分かれしているように見える。アンケート点数が2点以下の(木に見えない)プロットは、 s_Y の値によらずに横軸方向に分布しており、アンケートが2点以上のプロットは、(個人によって評価が分かっている黒丸プロットであるものの)点数と s_Y に相関があるように見受けられる一群と、点数に関係なく s_Y の小さい範囲に縦軸方向に分布している一群とに分かれる。このような傾向は、 $\bar{I}$, b などの分布にもやや認められる。今回の解析では、様々な物体表面の

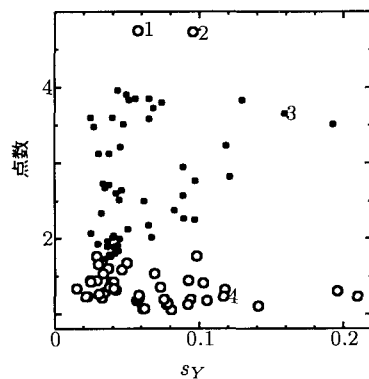


図-30 指標 s_Y

画像を用いたが、対象画像をもっと似た特徴のある群ごとに分類して解析すれば、もう少し高い相関が現れてくるのかも知れない。

$\bar{Q}$ の分布 (図-26) は、大部分のプロットは $\bar{Q} = 0$ の付近に分布しており、アンケート点数の低いものほど、そこから外れるものが多くなっている。このように、大部分の画像に対するプロットが指標値のある値に集中している中で、アンケート点数の低い (木に見えない) プロットが、そこから外れているような傾向は、 $\bar{R}$, $\bar{G}$, $\bar{Y}$, $\bar{I}$ などの分布にも多かれ少なかれ認められる。今回の調査では、「木らしさ」の点数と特に明らかな相関を示す数値指標は示せていないが、例えば、 $\bar{R} = 0.5 \sim 0.6$ 付近、 $\bar{G} = 0.4 \sim 0.6$ 付近、 $\bar{Y} = 0.4 \sim 0.6$ 付近、 $\bar{Q} = 0$ 付近、 $I > -0.05$ といった条件は、「木らしさ」の必要条件のようなものにはなり得るかも知れない。

4. まとめ

木製部材の見た目の「木らしさ」を定量化するため、木材や非木材の表面を写した画像の RGB 値を用いて、色合いや木目のスペクトルに関する 10 個の数値指標を提案した。解析画像の「木らしさ」を問うアンケート調査を行い、これらの数値指標と、アンケートの評価点数との間の相関を調べてみた。

RGB の各階調値を用いた数値指標とアンケート評価点数との相関図の分布は、グレースケールを用いた数値指標とアンケート評価点数との相関図の分布と似ており、「木らしさ」の判定には、色合いよりも木目が重視されていることがうかがわれた。

アンケートの評価点数と明らかな相関を示す数値指標は特に認められなかったが、いくつかの数値指標については、アンケートの評価点数が低くない画像に対して、指標値がある限られた範囲に分布することが分かった。つまり、今回提案した数値指標は、「木らしさ」の十分条件を示すようなものではないが、いくつかの数値指標については、「木らしさ」の必要条件を示すものになっているとは言えそうである。

また、今回の解析ではアンケート評価点数と特に明らかな相関を示す数値指標は認められなかったものの、アンケートで「木らしさ」が上位 1 位、2 位の高得点を与えられた画像や、逆に「木に見えない」という低得点を

与えられた画像では、人によってそれほど評価がばらつかないことが分かった。

つまり、そのような評価のばらつかない画像には、「木らしさ」や「木らしくなさ」を複数の人に同じように判断させる何らかの図形的な特徴があるものと思われるので、今後も、様々な定量化の手法を試しながら、より説明力の高い数値指標を探っていきたい。

参考文献

- 1) (財) 日本住宅・木材技術センター編著：木橋設計施工の手引 木橋づくり新時代，ぎょうせい，1995.
- 2) 林野庁 監修・薄木征三 編集指導：近代木橋の時代，龍源社，1995.
- 3) 秋田県立大学木材高度加工研究所編集：コンサイス 木材百科，財団法人秋田県木材加工推進機構，2002 改訂版.
- 4) 土木の風景 宮崎県西米良村 かりこぼうず大橋，NIKKEI CONSTRUCTION, 2003. 6. 13.
- 5) 後藤文彦，廣瀬克身，菅原紘一，岩熊哲夫：畳み込み積分を用いた構造景観の定量化，構造工学論文集，45A，1999，605-614.
- 6) Humihiko GOTOU, Yukari SAKURAGI and Tetsuo IWAKUMA: Statistical Correlation between Quantificational Indices and Preference Judgements of Structural Landscapes, *Forma*, 17, 2002, 239-251.
- 7) Nirmala Kalidindi, Liang Zheng, Yaqin Hong: Algorithm to determine the scenic beauty of images *MS State DSP Conference*, Fall'96, 1996, 32-52.
- 8) KALIDINDI, N., LE, A., PICONE, J., ZHENG, L., YAQUIN, H. and RUDIS, V. A.: Scenic beauty estimation of forestry images, *Proceedings of the IEEE Southeastcon'97*, Blacksburg, Virginia, USA, 1997, 337-339.
- 9) Victor A. Rudis, Ronald E. Thillb, James H. Gramann, Joseph Piconed, Nirmala Kalidindid, Philip A. Tappee: Understory structure by season following uneven-aged reproduction cutting: A comparison of selected measures 2 and 6 years after treatment, *Forest Ecology and Management*, 114, 1999, 309-320.
- 10) Robert M. Brown Jr., Suresh Babu Balakrisnama: Scenic Beauty Estimation Using Linear Discriminant Analysis *MS State DSP Conference*, Fall'97, 1997, 1-10.
- 11) 貴家仁志：よくわかるデジタル画像処理，CQ 出版社，2001.

(2003 年 9 月 12 日 受付)