

デジタル質感生成システム

Digital "Shitsukan" Generating System

谿 雄祐[†], 飛谷 謙介[†], 山崎 陽一[†], 井村 誠孝[†], 長田 典子[†]
Yusuke Tani, Kensuke Tobitani, Yoichi Yamazaki, Masataka Imura, Noriko Nagata

[†] 関西学院大学

Kwansei Gakuin University

tani.y@kwansei.ac.jp

Abstract

In this article, "shitsukan" means the contents that we feel from the object, such as glossy, gorgeous, and so on. It is still unknown the relationship between shitsukan and physical properties of objects and the way to control shitsukan. If we can control shitsukan freely, companies can satisfy their customers and we can make really neat goods. Our purpose is to establish the technology that assist people who make something in controlling shitsukan. To do this, we are engaging in two research projects. One is psychological or kansei study, which aims to reveal the causality among physical and psychological properties. The other is computational study, which aims to construct the functions to convert the psychological impressions to the corresponding physical properties. In the psychological study, we executed the experiment of visual judgment of shitsukan. The stimuli and evaluated aspects were carefully selected to guarantee the external validity of the results. The evaluation factors were estimated by the factor analysis. In the computational study, the evaluation factors were related to the smaller number of physical parameters derived from the enormous number of measured values by multiple regression. Our candidates for the dimension reduction methods are Lasso and PLS regression. We confirmed that the former was better than the latter. And to extrapolate the physical parameter set corresponding to the factor that is larger/smaller than the observed value is our remained problem. Deciding the 3-dimensional structure of the texture surface from suggested image is also awaiting problem. This process is essentially an inverse problem, so we are dealing with the optimization method through trial and error.

Keywords — Shitsukan, Factor analysis, Multiple regression, Dimension reduction

1. はじめに

「木の質感 (=素材感)」、「質感がよい (=何らかの、あるいは複合的な品質)」など「質感」とは非常に多義的に使用される単語であるが、本研究においては対象物に対して感知する光沢感、粗さ感など比較的低次な知覚レベルから、ふんわり感や高級感など高次な印象レベルまでの個々の内容を指す語として用いる。

質感は物の良し悪しや好ましさを評価、判断する上で、形や色、機能と同様に重要な意味を持つものである。それ故に、様々な製造場面において質感を制御す

る技術が求められてきた。しかし、多くの現場の実際はと言えば、特別な能力を有する一部の人間（デザイナー、職人など）が個別に有するノウハウやセンスに依存しているため、質感に変更を加えることは難しく、変更した効果を定量的に評価することも難しい。一般的な個人が行うモノづくりにおいても、自分自身が望んだような質感を実現することは容易なことではない。

画像に対して感じる光沢感の強弱が、その画像の輝度ヒストグラムの歪度という比較的単純な画像統計量と相関することを明らかにする[1]など、近年心理物理学、脳科学、計算機科学などの分野で質感を対象にした研究が盛んになっている。平成20年度に創設された科研費の種目である新学術領域研究においても、複合領域の課題として「質感脳情報学」（平成22～26年度）と「多元質感知」（平成27～31年度）が採択され、様々な質感関連研究が行われている[2][3][4]。

一方で、2009年に基本特許の保護期間が終了したことにより、安価な3Dプリンタが個人ユーザー向けに販売されるようになって以来、デジタル技術を介したモノづくり（以降デジタルモノづくりと呼ぶ）が広まりを見せている。しかし、デジタル技術の難解さに加えおそらく上記のような理由もあって、あらゆる人々が自由にデジタルモノづくりを楽しんでいるとはいえない。そこに、各個人が望むような機能、形状だけでなく質感を有するモノを自分自身で作ることが可能にするシステムがあれば、不満の残る大量生産品に囲まれて暮らさずとも済むだけでなく、愛着を持って使用することができ、生活の質（Quality of Life; QOL）の向上に繋がるだろう。また、大規模な生産者である企業にとっても、多様な顧客の要求に細かく対応した効率的な生産が可能になれば、大量生産によって在庫を抱えるリスクが低減し、限りある資源の有効活用に繋がる可能性がある。

2. 目的

そこで、我々はデジタルモノづくりにおいて所望の

質感を実現する枠組みとして、デジタル質感生成システムを提案する。本システムの要素研究として、人がモノに対して感じ取る質感と、そのモノの物理的な性質との関係性を明らかにするための研究と、質感と印象、さらにはそれらとモノの良し悪しや好みといった感性価値との関係を明らかにするための研究を、様々な素材を対象に行っている。具体的には、対象とする素材から網羅的かつ代表的なサンプルを抽出し、それらの質感や印象を評価する心理実験を行っている。心理実験の結果を因子分析することで質感認知に関する心理モデルの構築を行っている。

そして、心理実験に使用した評価対象の物理特徴量を抽出し、それらから因子得点を推定する予測モデル（モノ→感性の順方向プロセス）を構築する。これを利用して、ヒトがある質感や印象を抱くように既存のモノに変更を加える質感生成アルゴリズム（感性→モノの逆方向プロセス）を構築するための研究も併せて行っている（図1）。本稿では、我々の取り組みのうち、質感評価実験の一例と、実験結果から構築した質感生成アルゴリズムのプロトタイプの概要について論じる。

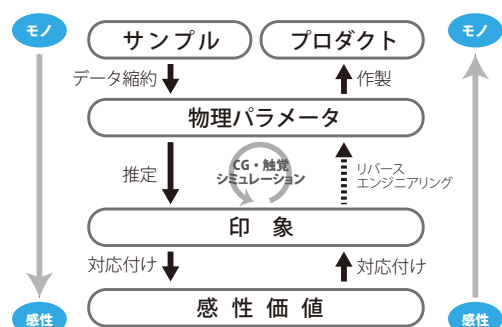


図1 デジタル質感生成システムの概念図

3. 質感評価実験

質感評価実験において、評価対象となる実験刺激と評価内容である評価語の両方が代表的かつ網羅的であることを我々は重視している。一般的に心理実験においては、参加者のランダムサンプリングを前提とするか、参加者を想定する母集団において“一般的である”と見なすことで実験結果の外的妥当性を保証している。我々はさらに評価対象についても実験結果の外的妥当性を高めることで、実験結果から構築される心理モデルが評価対象となる素材（例えば布地や皮革など）全般に対して適用可能と見なせるようにしている。そのために実験刺激がその素材全体に対して適切なサンプルとなるよう所定の選定手続きによって選定している。

評価内容についても関連研究を参考にしつつも恣意的に限定せず、対象となる素材に対して感じ得るあらゆる質感や印象、そして感性価値に対して適切なサンプルと言えるような評価項目を設定するために所定の手続きに基づいた選定をしている。以下では身近な題材である樹脂表面に刻まれた微小パターン（以降「テクスチャ」）を対象とした研究を例に、実験刺激の選定から質感評価実験に至る所定の手続きと実験結果の解析方法とそこから得られた知見について述べる。

テクスチャには滑り止めや傷の隠蔽と言った機能的な目的だけでなく、意匠性を高める目的もある。しかし、その物理的な特性と我々が感じる質感やそこからもたらされる価値との関係については未解明な部分が多い。したがって、テクスチャの物理特性と質感の関係を明らかにし、さらには所望の質感からそれを実現するテクスチャの物理特性を導き出すことができれば、企業や個人の別なくモノづくりにおいて非常に有用であると考えられる。

実験刺激の選定のために、まず可能な限りの種類のテクスチャを収集し、それらを視覚的な類似度に基づいて分類する実験を行った。この実験では、サンプル群を二分することを繰り返すため、我々は繰り返し二分法と呼んでいる。3名の実験参加者には主観的な類似度に基づいて分類するよう教示し、具体的な観点については一切支持をしなかった。3名の参加者は同時に課題に取り組み、必要に応じて話し合いながら分類を決定した。分類が完了するごとに結果と分類基準を記録し、構成されたグループに対して同様の手続きを繰り返した。繰り返し二分法の結果、45種のテクスチャが10グループに分けられ、その結果からデンドログラムを得た。デンドログラムに基づいて、テクスチャ間の距離を決定し、得られた距離行列に対して多次元尺度構成法（MDS）を適用し、テクスチャ群を多次元空間にマッピングした。デンドログラムに基づくグループごとに多次元空間における重心を算出し、各グループから重心に近いテクスチャを2つずつ、質感評価実験の刺激として選定した。

評価語を選定するために、繰り返し二分法により構成された10グループから1つずつテクスチャを提示し、それらに対して参加者が感じた質感と印象を可能な限り書き出す自由記述実験を行った。自由記述実験により得られた言語表現の表記を統一するなど整理した結果、5名の参加者から192の言語表現を得た。次に、自由記述実験により得られたこれらの言語表現が、テ

クスチャの質感や印象を表現するのに適切かどうかを7段階で評価する適合度実験を行い、10名の参加者の結果から平均5以上、かつ4以下と評価した参加者が1名以下となった43語に、特に評価が知りたかった16語を加えた59語を得た。これら59の言語表現の全ての組み合わせについて、意味的な置換可能性を判断する距離測定実験を行った。組み合わせ総数が多かった(1,711)ため、一部重複を含む865対に分け、それぞれを1名分の試行数とした。11名の実験参加者の結果から得られた距離行列に対して、MDSとクラスター分析を行い、テクスチャ板評価空間について代表的かつ網羅的な19の評価語を選定した(表1)。

このようにして選定した標準的なテクスチャ群と標準的な評価語群を用いて、テクスチャの視覚的質感を評価する質感評価実験を行った。参加者はランダムな順番に提示されるテクスチャに対して、各評価語が表す質感の強度を「まったく感じない(0)」から「とても感じる(100)」の5段階で回答した。参加者は実験の目的を知らない20代の男女19名であった。

表1 質感評価実験で用いた評価語

粗い	いぼいぼした	美しい
乾いた	ぎざぎざした	規則的な
年寄りっぽい	しっかりした	重厚な
スポーティな	洗練された	でこぼこした
滑らかな	プログレッシブな	未来的な
かつこ悪い	すべすべした	若々しい
嫌いな		

各テクスチャに対する評価の平均を算出し、評価における潜在因子を推定するために因子分析(最尤法・プロマックス回転)を行った。因子分析の結果、3因子が抽出され、評価語の因子負荷量からそれぞれ「瑞々しさ」、「ざらざら感」、「好ましさ」と命名した。また、各テクスチャの因子得点に基づくクラスター分析結果より、テクスチャは4クラスターに分類された(図2)。

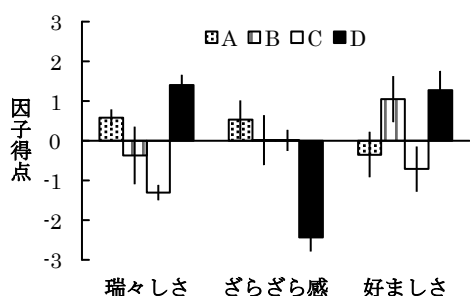


図2 各クラスターの因子得点

全20種のうち9種のテクスチャが全因子において得点

の絶対値が小さいクラスターAに分類されたが、瑞々しくざらざら感が低く好ましいクラスターDには2種、瑞々しさはやや低いものの好ましいクラスターBには4種のテクスチャが分類された。これらの結果は、物体表面に施された微細形状であるテクスチャの視覚的な質感が、その物体の好ましさに影響していることを示している。

4. 質感生成アルゴリズム

テクスチャの3次元形状をレーザーによる高精度形状測定システムKS-1100(KEYENCE社製)により計測し、平滑化フィルタリングにより測定ノイズを除去し、ハイトマップを取得した。ハイトマップと素材の反射特性(BRDF; 双方向反射率分布関数)からCG画像を作成し、特徴量を抽出した。本研究では特徴量として、人間の視覚特性と親和性が高く、質感研究だけでなく様々な視覚機能の研究において用いられるPortillaとSimoncelliによる画像統計量(以下PS統計量[5])を採用した。PS統計量は周波数空間における画像の方位と位相情報を考慮した統計量であり、これらの中には統計量の自己相関や統計量間の相互相関なども含まれる。

予測モデルの構築にあたり、特徴量を説明変数、因子得点を目的変数とした回帰問題として扱う。PS統計量が高次元かつ多重共線性を有することを考慮して、L1型正則化法の一つであるLasso(Least absolute shrinkage and selection operator)回帰と、低次元の合成変数に変換するPLS(Partial Least Square)回帰の2種類の回帰分析手法を採用し、その精度を比較した。3因子すべてにおいてLasso回帰によって構築された予測モデルの決定係数がPLS回帰によるその決定係数を上回ったが、「瑞々しさ」因子については両者の差は僅差であり、いずれの予測モデルにおいても「好ましさ」因子の決定係数は低かった(図3)。

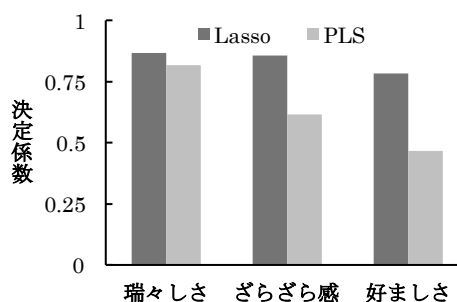


図3 次元縮約法の比較

ここまで述べた「モノ→感性」の順方向プロセスの予測モデルを用いて、所望の質感を有する物体（現段階では画像）を得る。具体的には既存のテクスチャの因子得点を増減させるように説明変数である画像統計量を増減させる。更新した画像統計量を用いて画像を合成する手法はPortillaとSimoncelliの手法[5]を応用している。この手法では、ホワイトノイズに対して画像統計量に対応したフィルタリングを再帰的に行うことでテクスチャ画像を生成する。生成結果から期待した効果が得られることを確認している。

5. まとめ

本稿ではデジタル質感生成システムの概要と要素技術確立のために行っている研究の成果と課題を述べた。デジタル質感生成システムとは、入力された質感の強度を物理量に変換することで、誰もが所望の質感を実現できるシステムである。今後普及することが予想される個人によるデジタルモノづくりにおいて、製品の満足度を高めることに貢献できると我々は考えている。

デジタル質感生成システムを実現するために、質感評価実験と物理計測を行っている。質感の強度と物理統計量の関係を、次元縮約と重回帰分析により定式化した。構築した重回帰式に基づいて所望の質感の強度を実現する物理統計量を推定した。推定された物理統計量群を用いて物体を合成する手法を開発した。

今後の課題としては視覚以外の感覚モジュールでの実現、対象素材の拡張は勿論だが、その前に定量的な質感制御手法の確立と2次元である画像から3次元形状を決定する手法の開発が挙げられる。前者については様々な強度で質感を操作した合成画像に対する質感評価実験により、質感生成アルゴリズムの効果検証を行いながら質感と画像統計量の関係式を改善する予定である。後者については、本質的に不良設定問題であるため有効な最適化手法を試行錯誤的に検討して行く。

参考文献

- [1] Motoyoshi, I., Nishida, S., Sharan, L., Adelson, E. H., (2007) "Image statistics and the perception of surface qualities", *Nature*, Vol. 447, No. 7141, pp. 206-209.
- [2] Nishio, A., Goda, N., Komatsu, S., (2012) "Neural selectivity and representation of gloss in the monkey inferior temporal cortex", *Journal of Neuroscience*, Vol. 32, No. 31, pp. 10780-10793.
- [3] Tani, Y., Nagai, T., Koida, K., Kitazaki, M., Nakauchi, S., (2014) "Experts and novices use the same

- factors-but differently-to evaluate pearl quality", *PloS one*, Vol. 9, No. 1, e86400.
- [4] Punpongsonan, P., Iwai, D., Sato, K., (2015) "Softer: Visually manipulating haptic softness perception in spatial augmented reality", *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, Vol. 21, No. 11, pp. 1279-1288.
- [5] Portilla, J., Simoncelli, E. P., (2000) "A parametric texture model based on joint statistics of complex wavelet coefficients", *International Journal of Computer Vision*, Vol. 40, No. 1, pp. 49-71.