

令和 5 年 5 月 17 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19817

研究課題名（和文）物理量による人の質感知覚の定量化とプロトタイプシステムの構築

研究課題名（英文）Quantification of Shitsukan perception using physical quantity and construction of prototype system

研究代表者

田中 緑（Tanaka, Midori）

千葉大学・大学院国際学術研究院・助教

研究者番号：40780979

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、光沢感、透明感、粗さ感を対象に、物体から視覚的に知覚する質感を推定する質感定量化プロトタイプシステムの構築を目的としている。種々の材質、色、表面凹凸を有する実物体を対象として、拡散照明および指向性照明を用いた心理物理評価に基づく知覚情報処理の解析と、光学計測に基づく物理情報解析の双方を実施した。結果、光学計測によって獲得した物理特徴量から、知覚する各質感の知覚量を推定するモデルを構築できた。特に光沢感は、既存研究で取り扱われてきた材質に限ることなく、石材や皮革、樹脂など10種もの実物材質を対象とした汎用的な定量化システムが構築できる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により構築した質感定量化プロトタイプシステムは、心理物理評価に基づく知覚情報解析と物理情報解析の双方からのアプローチによって、人間がどのような物理情報を用いて質感を知覚しているのかという質感知覚メカニズムの解明へとつながる学術的意義がある。更に、複数の材質に適用可能な汎用的なシステムの構築は、様々な産業分野の共通指標として活用される可能性を有することから、社会的意義も併せ持つ。プロトタイプシステムを更に発展させて対象物体を拡張できれば、様々な質感を対象とした定量化システムは、求める質感からものづくりに挑む要素技術としての活用も見込まれる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to construct a Shitsukan quantification prototype system that estimates the visually perceived Shitsukan from an actual object with regard to perceptual gloss, transparency, and roughness. Both perceptual information processing analysis based on psychophysical evaluation using diffuse and directional illuminations and physical information analysis based on optical measurements were conducted on real objects with various materials, colors, and surface unevenness. The results showed that a model could be constructed to estimate the perceptual quantity of each Shitsukan from the physical features acquired by optical measurement. Specifically, for perceptual gloss, the results suggest the possibility of constructing a universal quantification system that is not limited to the materials that have been treated in existing research but can be applied to as many as 10 types of real materials, such as stone, leather, and resin.

研究分野：視覚情報工学

キーワード：質感 光沢感 透明感 粗さ感 定量化

### 1. 研究開始当初の背景

日常生活において、人間は視覚を通じて瞬時に物体の特徴を認識し、色や形状などの初期視覚の情報に加えて、質感と呼ばれる光沢感や透明感などのより高次の情報を獲得している。モノづくりに関わる産業分野では、質感は商品価値を左右する非常に重要な要素として、職人の経験に基づいて感覚的に扱われてきた。学術的には、色や明るさなど初期視覚野における情報処理については長く研究され議論が成熟してきたものの、それらを統合して知覚する高次視覚野の情報である質感については、多くの研究課題が残されている。質感研究分野で盛んに研究されている光沢感を例に挙げると、物体表面上の光の反射強度と拡がりなどの物理現象である「光沢」から、人間は心理現象として「光沢感」を知覚している。物理的な現象を定量化した「光沢度」については、国際標準化機構 (ISO) や国際照明委員会 (CIE) などによって、光沢度計測手法が議論・整備されてきた。しかしながら、光沢度と人間が知覚する光沢感が乖離していることが産業界の現場では指摘されており、物理量が知覚量と異なることは経験的に知られている。同様に、他の質感に関しても、物理量と知覚量との関係は明らかにされていない。

報告者の先行研究では、図1に示す評価環境において、物理的に等価な色、明るさ、形状を有する実物体と高精細再現画像を対象とした心理物理実験を実施し、実物体と画像から知覚される質感が異なり得ることを明らかにした。以上の背景から、人間はどのような物理情報を利用して質感を知覚しているのか？知覚量である質感を定量的に扱うことはできないのか？という問いに辿り着く。これらの問いの解明は、人間の質感知覚メカニズムの解明へとつながる科学的な進展と、モノづくり産業全体の工学的発展の双方にとって、必要な課題である。

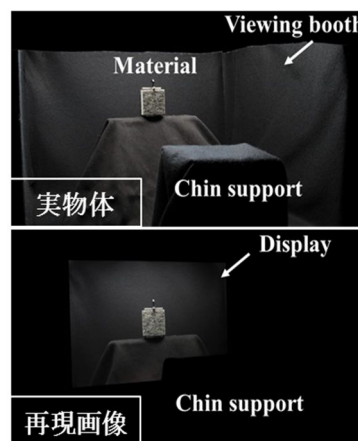


図1. 評価環境

### 2. 研究の目的

本研究では、人間が物体表面から視覚を通じて感じ取る代表的な質感(光沢感、透明感、粗さ感)を対象に、物理量から人間が知覚する質感を定量化することによって、物体から人間が視覚的に知覚する質感を推定する質感プロトタイプシステム(図2)を構築する。

質感のモデル化に取り組んだ既存研究の典型例は、ディスプレイ上に呈示されたCGを対象とした質感評価を行い、CGのパラメータを用いてモデル化する方法である。これらのアプローチでは刺激生成の容易さから画像刺

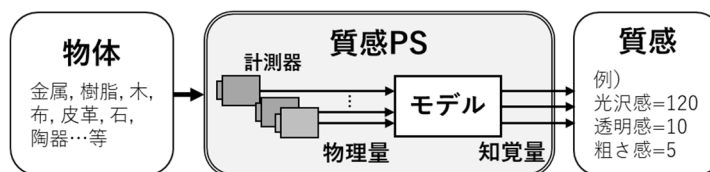


図2. 質感定量化プロトタイプシステム(質感PS)の概念図

激が用いられるが、前述の報告者の知見に基づけば、画像刺激を用いた特定の視環境の評価が、実世界における実物体の質感知覚を反映しているとは言い難い。そこで本研究では、実物体を対象とした次のアプローチにて遂行する：

- ・対象は実物体...実物体を対象として、物理量の計測および知覚量の評価実験を実施する。
- ・刺激の多様性と一般的な視環境を設定...日常に近い視環境を想定し、様々な材質や表面形状を有する物体を対象に、種々の照明条件や観察条件から構成される実験環境を構築する。
- ・複数の質感を同時に評価...光沢感、透明感、粗さ感について同一物体を対象に評価する。

### 3. 研究の方法

研究目的に示したアプローチに沿って、次の3つ方法で研究を遂行する。

- (1) 知覚量を安定して評価できる視感評価環境の構築
- (2) 物理量を正確に安定して計測できる質感計測手法の創出
- (3) 物体から人間が知覚する質感を推定する質感定量化プロトタイプシステムの構築と改善

平面物体を対象とした限定的な観察条件のもと、知覚量と物理量を結び付ける質感プロトタイプシステムを構築する。対象とする物体は、報告者の先行研究に用いてきた現有の10種の材質(石、金属、ガラス、プラスチック、皮革、紙、布、ゴム、陶器、木)に加えて、より丁寧に各質感の違いを捉えるために、各質感が段階的に制御された単純かつ系統的な平面物体を新たに導入し、心理物理評価・物理計測・解析に基づいて、質感プロトタイプシステムを構築する。また、一般的な観察条件のもと、物体形状の多様性を考慮した汎用的な質感プロトタイプシステムへの展開を試みる。構築した質感プロトタイプシステムに汎用性を付すため、拡散照明と指向性照明を組み合わせた観察条件へと拡張した実験評価環境にて、立体的な実物体を対象に質感知覚の定量化に取り組み、プロトタイプシステムの精度および有用性の改善を図る。

#### 4. 研究成果

2020年度は、3(1)について、特定照明下における視感評価環境を構築した。具体的には、照明条件がもたらす質感知覚への影響を調査するため、物理的な光沢度の測定条件を規定したISO2813の幾何条件に基づいて、対象物体をスポット照明によって同一の明るさで照明できる評価環境を構築した。平滑面や梨地面など、表面形状が異なる樹脂や金属メッキ等の平面サンプルを対象物体として、構築した視感評価環境において光沢感の視感評価実験を実施した。10名の被験者に対する実験の結果、同じサンプルでも幾何条件によって光沢感知覚が異なる結果が得られた。さらに、透過率が異なる実物サンプルを対象とした透明感の視感評価実験に向けて、標準光源D65相当の拡散照明を安定して出力できる照明環境を構築した。次いで、3(2)について、平面物体の質感計測環境を構築した。具体的には、構築した視感評価環境において光沢感解析に用いる質感計測を実施した。計測においては、平面物体表面の光学的な物理量を、精密光学機器やカメラで獲得し、物理特徴量を算出した。具体的には、従来の標準規格で規定された光沢度に加えて、ヘイズや写像性、テクスチャ特徴量を解析によって獲得した。さらに、構築した視感評価環境において透明感解析用の画像計測を遂行し、有力な特徴量とされる尖度や歪度などの物理特徴量を算出したところ、透明物体の背景や陰影を考慮した照明環境の構築が重要であるとの知見が得られた。上述の評価環境と計測環境の構築と、各実験の遂行によって得たデータに基づいて(3(3)に該当)光沢に関する物理量・光沢度等と、知覚量・光沢感の関係を解析し、重回帰分析によって物理量から知覚量を推定する光沢感モデルを導出した。光沢度以外の物理特徴量を加味することで、関連研究のモデルよりも高精度な推定結果が得られた。

2021年度は、2020年度の成果を発展させて、一般照明を考慮した視感評価環境の構築、平面物体の質感定量化システムの開発、および立体物を対象とした質感知覚の定量化に取り組んだ。具体的には、照明条件がもたらす質感知覚への影響を調査するため、拡散照明、スポット照明などの照明の拡散度やジオメトリの異なる複数の条件下での質感評価環境を構築した。また、光沢感、透明感、粗さ感の3種の質感について評価実験を完了した。研究成果として、物体表面の光沢や凹凸の異なる平面物体を対象とした物理量から光沢感を推定するプロトタイプシステムを開発した。しかしながら、これまでの評価対象は単一色からなる平面物体に限定されていた。そこで、より汎用的なプロトタイプシステムの構築を目指すため、対象とする物体の形状と色を平面から立体、モノクロからカラーへとそれぞれ拡張し、構築した視感評価環境において質感評価の安定性を確認した。拡張した実験条件のもと、物理量から光沢感を推定するプロトタイプシステムを構築した。

最終年度となる2022年度は、様々な実物の材質を扱うことのできる汎用的なモデルを目指すため、前年度までに構築したプロトタイプシステムに対して、更なる解析とモデル再構築に取り組んだ。照明の指向性が物体の光沢感に与える影響を調査するために、心理物理実験を実施して解析を進めた。実験は、指向性の異なる高指向性照明および拡散性照明を組み合わせた照明下に、表面凹凸形状や反射特性の異なる実物体の実験サンプル(紙や樹脂、石など10材質からなる約100個)を設置して質感知覚量を評価した。また、物理量の解析に主として用いた実物表面の二次元輝度分布情報の獲得には、強光沢の広いダイナミックレンジをも包含するHDR画像の計測・解析を活用することで、精細な分布データを得られるよう技巧を凝らした(図4)。物理量・知覚量の相互関係を解析した結果、光沢感には光沢度とコントラストの影響が大きく、従来研究で重要と考えられてきたヘイズおよびDOIの物理指標は影響が小さいことが示唆された。プロトタイプシステムの精度改善に努めた結果、ISOが推奨する任意角度の光沢度よりも、入反射60度の条件で計測した光沢度を物理指標として採用することで精度が改善され、1以内で予測可能なことが示された(図4)。

これは、光沢度と光沢感の獲得には、光学幾何条件が同一である必要はないことを示唆する。以上より、様々な実物体を対象に、物理量によって質感知覚を定量化できる可能性が示された。プロトタイプシステムを更に発展させて対象物体を拡張できれば、様々な質感を対象とした本研究のアプローチは、求める質感からものづくりに挑む要素技術と成り得ると期待される。

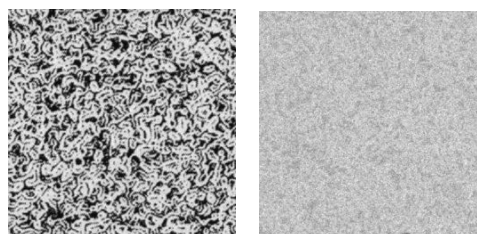


図3. 物体表面の輝度分布特徴量解析に用いたHDR画像の例  
(左: 梨地金属、右: 梨地樹脂)

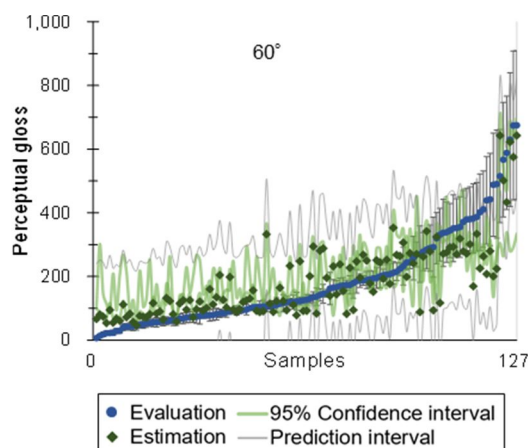


図4. 様々な実物体の材質を対象とした光沢感定量化の一例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 M. Tanaka, S. Amari and T. Horiuchi	4. 巻 -
2. 論文標題 Prediction model for perceptual gloss by physical measurement of flat objects	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Lighting Research & Technology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Y. Manabe, M. Tanaka and T. Horiuchi	4. 巻 55
2. 論文標題 Bumpy Appearance Editing of Object Surfaces in Digital Images	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Imaging Science and Technology	6. 最初と最後の頁 05403-{1-15}
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2352/J.ImagingSci.Technol.2022.66.5.050403	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Y. Manabe, M. Tanaka and T. Horiuchi	4. 巻 65
2. 論文標題 Glossy Appearance Editing for Heterogeneous Material Objects	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Imaging Science and Technology	6. 最初と最後の頁 {060406}1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2352/J.ImagingSci.Technol.2021.65.6.060406	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 D. Gigilashvili, M. Tanaka, M. Pedersen and J. Y. Hardeberg	4. 巻 2688
2. 論文標題 Image Statistics as Glossiness and Translucency Predictor in Photographs of Real-world Objects	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 CEUR Workshop Proceedings	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 H. Todo, M. Tanaka, T. Horiuchi
2. 発表標題 Modeling of Translucency by Physical Measurement of Flat Surfaces
3. 学会等名 Colour and Visual Computing Symposium 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 D. Li, M. Tanaka and T. Horiuchi
2. 発表標題 Verification of Gloss Representation in Printing using Texture-Aware Error Diffusion Algorithm
3. 学会等名 Computational Color Imaging Workshop (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 真鍋裕亮, 田中緑, 堀内隆彦
2. 発表標題 デジタル画像で表現された物体表面の凹凸感編集方法
3. 学会等名 電子情報通信学会電子ディスプレイ研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 真鍋裕亮, 田中緑, 堀内隆彦
2. 発表標題 自然画像を対象とした物体表面の凹凸感編集方法
3. 学会等名 日本色彩学会視覚情報基礎研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K.Myosen, M.Tanaka and T.Horiuchi
2. 発表標題 Consideration of Factors Affecting Gloss Perception Using Independent Scenes to Each Eye
3. 学会等名 European Conference on Visual Perception (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S.Amari, M.Tanaka and T.Horiuchi
2. 発表標題 Modelling of Perceptual Gloss by Physical Measurement of Flat Surface
3. 学会等名 CIE Midterm Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 真鍋裕亮, 田中緑, 堀内隆彦
2. 発表標題 種々の材質の物体に対応した画像光沢の編集方法
3. 学会等名 日本色彩学会第52回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平岡理香, 田中緑, 堀内隆彦
2. 発表標題 評価方法の違いによる物体の光沢感スコアに関する実験的考察
3. 学会等名 日本色彩学会色彩科学系 5 研究会合同研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y.Manabe, M.Tanaka and T.Horiuchi
2. 発表標題 Glossy Appearance Editing for Heterogeneous Material Objects
3. 学会等名 IS&T Electronic Imaging 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 D. Gigilashvili, M. Tanaka, M. Pedersen and J. Y. Hardeberg
2. 発表標題 Image Statistics as Glossiness and Translucency Predictor in Photographs of Real-world Objects
3. 学会等名 Colour and Visual Computing Symposium 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y.Manabe, M.Tanaka and T.Horiuchi
2. 発表標題 Bumpy Appearance Editing of Object Surfaces in Digital Images
3. 学会等名 IS&T 30th Color Imaging Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ノルウェー	ノルウェー科学技術大学			