

令和 5 年 5 月 19 日現在

機関番号：13904

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2022

課題番号：21K21315

研究課題名（和文）瞳孔反応を用いた心を動かす質感認知のモデル化

研究課題名（英文）Modeling for affective material perception by pupillary response

研究代表者

田村 秀希（Tamura, Hideki）

豊橋技術科学大学・工学（系）研究科（研究院）・助教

研究者番号：40908612

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、心を動かす質感の認知状態と相関のある瞳孔反応特徴を明らかにし、それを予測するモデルを構築することが目的である。具体的には、光沢感評定と瞳孔径計測を同時に行う心理物理実験を実施し、そのデータをもとにモデル構築を行った。その結果、光沢感評定値が高く評価された画像を観察中には瞳孔径がより縮瞳することがわかった。加えて、線形混合効果モデルにより、瞳孔径変化を最もよく予測する要因が何なのかを検証した結果、光沢感評定値が高く、画像の輝度分散が高いときに、瞳孔径の縮瞳が有意に予測された。これは物体表面のハイライトによって生じる「輝いて見える認知的要因」が瞳孔径を縮瞳させることを示唆する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、光沢感の持つ認知的要因が瞳孔径変化にどのような影響を与えるかを初めて明らかにしたものである。今回発見した質感知覚と瞳孔反応の関係性から、瞳孔径を外部から輝度変化させることでその大きさを調整させ、質感知覚を変調できるようにかもしれない。こうしたアプローチは、視覚系における質感認知の階層構造モデル仮説の検証に有効である。加えて、観察者の瞳孔反応からどのようなモノに対して心を動かされているかを推定できるようになれば、より良いものづくり、マーケティング、デザインにも寄与できる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to clarify the characteristics of pupil response that correspond to material perception and develop a predictive model for them. We conducted a psychophysical experiment simultaneously measuring perceived glossiness and pupil diameter. As a result, we found that the pupils constricted when observing stimuli with higher glossiness ratings. Moreover, a linear mixed-effects model identified that the high gloss rating and high variance of luminance histogram significantly predicted pupil changes. These findings suggest that the cognitive aspect of a “shiny appearance,” resulting from specular highlights on the object’s surface, leads to pupil constriction.

研究分野：感性情報学

キーワード：質感 瞳孔 光沢感 魅力 線形混合効果モデル 画像特徴量

## 1. 研究開始当初の背景

物体の表面状態や材質を推定する能力である質感認知は、私たちの行動と密接なつながりを持っている。物体形状、表面状態、環境光の三要素の組み合わせによって多種多様な豊かな質感（光沢感、透明感など）が生み出され、これらは工学の「ものづくり」に対しても極めて重要な役割を持つ。例えば、宝石や貴金属に見られるように良質な質感の追求は、太古から現代まで常に人類全体の欲求であった。こうした背景から、脳内の質感認知プロセスの解明が、工学・心理物理学・神経生理学など様々な学問領域で積極的に進められてきた。

これまでは、光沢表面の推定(e.g., Motoyoshi et al., 2007)や、材質の識別(e.g., Fleming et al., 2013)等、物理的質感に注目が集まっていた。一方、物理的質感よりも高次元認知である嗜好、欲、価値判断といった、個人の行動や心の動きに影響を与える感性的質感の処理メカニズムは何に起因するのだろうか。例えばキラキラと輝くダイヤモンドには高値がつけられ、それを手に入れたときに至上的な幸福を得る人々がいる一方で、そうしたモノに対して全く興味を示さず、単なるガラスと大差ないと感じる人々もいる。こうした事象は、物体の状態によって私たちの行動が変化する(Fleming, 2017)という、いわば質感の持つ本質的特性を示しており、ヒトをより深く理解する上で早急に明らかにすべき課題である。本研究では、嗜好、欲、価値判断など、私たちの行動・心の動きを変容させる感性的な質感を「心を動かす質感」と定義し、「心を動かす質感の認知は何から生まれるのか」を学術的問いと設定した。

この重要なミッシングピースの探索・発見に向けての研究は、ほとんど着手されていない。その理由の一つとして、心を動かす質感が個人的主観に大きく左右されるものだと考えられ、それを客観的に抽出する手法が明らかでないことが挙げられる。物理的質感以上に個人差があり、その時々状況によっても結果が変化しうる。そのため、心を動かす質感認知の真の解明には、行動・発話を伴うよりも前の段階、すなわち脳内で認知・判断する段階での処理の差を表層へと引き出す「指標」が求められている。

そこで申請者が着目したのがヒトの生理的指標の一つである瞳孔反応である。眼球運動や視線方向はヒトの「心の窓」であり、情動状態や意図など様々な認知現象を反映する(e.g., Laeng et al., 2012)。特に瞳孔径は、古典的な明るさの変化だけでなく、Adaptive Gain Theoryで議論されるようにヒトの興味やモードの行動調整を行っている青斑核の活動と相関がある(Eckstein et al., 2016)。よって、瞳孔反応から間接的に神経活動を知ることによって、これまで未解明だった個人差に依存する心を動かす質感認知の解明につながるのではないかと、という発想に至った。

## 2. 研究の目的

具体的には、以下の2項目を達成することが本研究の目的である。

【目的1】心を動かす質感の認知状態と相関のある瞳孔反応特徴を明らかにする

【目的2】その瞳孔反応特徴から心を動かす質感認知処理メカニズムのモデルを構築する

## 3. 研究の方法

### 3-1. 瞳孔計測実験

これまでの質感研究で最も研究対象とされてきた光沢感に着目し、ヒトが画像の光沢感を評定する際の瞳孔反応を計測し、光沢感と瞳孔の関係性を調査した。実験刺激(図1A)には、光

沢の強さの異なる一般物体画像(Original)と、それら画像の物体領域内の画素を大小様々な正方形領域でランダムにシャッフル (図 1B) した画像(Shuffled)を用い、全画像をヒストグラムマッチング法により輝度統制した。これにより画像の輝度ヒストグラムから求められる特徴量を完全に等しくして、物理的要因が瞳孔反応に与える影響を最小限とした。これらの刺激を用いて、光沢の有無と物体の曖昧性の有無がどのように瞳孔反応に反映されるかを同時に検証した。心理物理実験では、実験参加者の瞳孔反応を常時計測し、参加者は 3000ms 呈示される画像を観察した後に、その画像の光沢感の強さを 7 段階で評定するタスクを実施した (図 1C)。

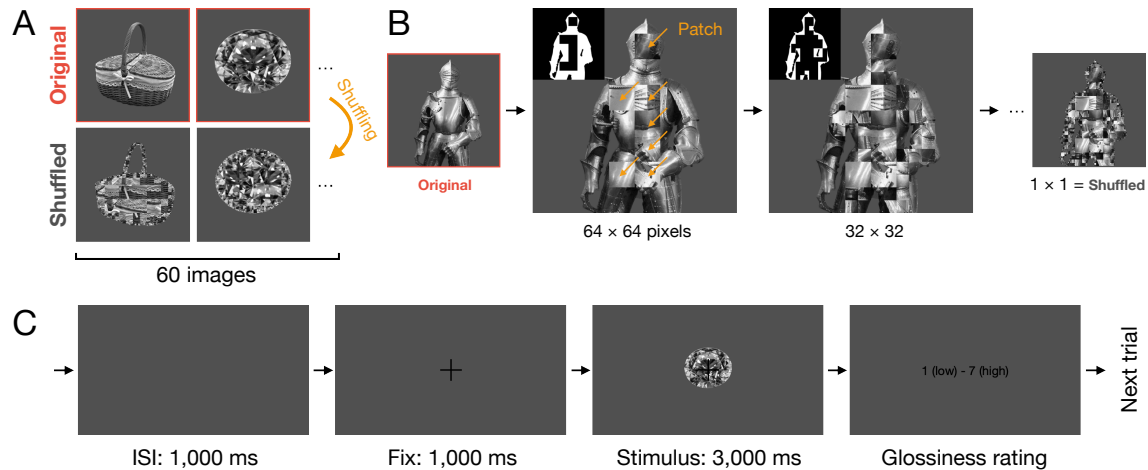


図 1：実験方法

### 3-2. モデル構築

光沢感評定値と瞳孔反応計測が紐付いたデータをもとに、「瞳孔径が光沢感評定値、画像条件、画像特徴量など、どのような要因の組み合わせで最も予測できるか」について、線形混合効果モデルを用いてモデル構築を行った。従属変数としての瞳孔径は刺激呈示区間 3,000ms の最小瞳孔径とした。独立変数として、1)光沢感評定値、2)注視点 1 度視野内の平均輝度、3)画像条件 (オリジナル、画素シャッフル)、4-7)画像特徴量 (輝度ヒストグラムの平均、分散、歪度、尖度) の 7 種を設定した。The maximal random effects structure (Brauer and Curtin, 2017; Barr et al., 2013)に則して、最も複雑なモデルから backward reducing method で変数を減らし、当てはまり最もよい変数選択の組み合わせを探索した。

## 4. 研究成果

### 4-1. 瞳孔計測実験

光沢感が高く評価された画像を観察中には瞳孔径がより縮瞳し、それは対光反射付近の比較的速い時点で生じることがわかった (図 2)。同時に、物体が曖昧なときはより遅い時点で瞳孔径が散瞳した。以上の結果は、物体表面のハイライトによって生じる「輝いて見える認知的要因」が瞳孔径を縮瞳させることを示唆する。

光沢感評定に加えて、魅力評定と瞳孔反応を同時に計測する実験を行った。その結果、魅力評定との関連が示唆される瞳孔反応は、光沢感の瞳孔反応と比較して、時間的に遅い段階で散瞳効果がより大きいことがわかった。

### 4-2. モデル構築

光沢感評定値が高く、分散が高いときに、瞳孔径の縮瞳が有意に予測された。前者は物体表面のハイライトによって生じる、輝いて見える認知的要因によって瞳孔径が縮瞳したことを示唆

し、後者はコントラストが光沢感に寄与するという、先行研究の報告を支持する。加えて、画素シャッフル条件のときに瞳孔径が有意に散瞳することも予測された。これは物体が曖昧なことによる認知的負荷が瞳孔を散瞳させたと示唆する。

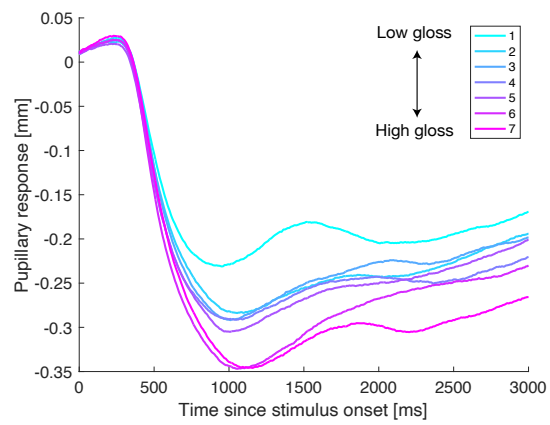


図 2：光沢感評定値と瞳孔反応

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hideki Tamura, Shigeki Nakauchi, Tetsuto Minami	4. 巻 -
2. 論文標題 Glossiness perception and its pupillary response	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 bioRxiv	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） 10.1101/2022.04.13.488254v1	査読の有無 無
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 Hideki Tamura, Konrad Eugen Prokott, Roland W. Fleming	4. 巻 22
2. 論文標題 Distinguishing mirror from glass: A “big data” approach to material perception	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Vision	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） 10.1167/jov.22.4.4	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3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田村秀希, 中内茂樹, 南哲人
2. 発表標題 モノへの魅力という感性的質感と瞳孔反応
3. 学会等名 日本視覚学会2022年夏季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田村秀希, 中内茂樹, 南哲人
2. 発表標題 画像の局所的・大域的特徴によって変化する光沢感知覚とその瞳孔径
3. 学会等名 日本視覚学会2022年冬季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田村秀希, 中内茂樹, 南哲人
2. 発表標題 光沢感知覚と瞳孔反応
3. 学会等名 第3回深奥質感領域班会議
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		
ドイツ	Justus Liebig University Giessen		