テクスチャの触感における視覚的期待効果の抽出法* (プラスチック・シボの粗さ感における視覚の期待効果)

柳澤 秀吉^{*1}, 高辻 賢司^{*2}

A Method for Extraction of Visual Expectation Effect on Surface Texture (A Case of Visual Expectation Effect on Tactile Roughness Perception of Plastic Texture)

Hideyoshi YANAGISAWA ^{*1} and Kenji TAKATSUJI

^{*1} University of Tokyo, Department of Mechanical Engineering
7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

To perceive a quality of a surface texture, people often switch different sensory modalities through an interaction with a product, e.g., we see and then touch a product surface. In such modality transitions, people expect tactile quality of a product from its appearance before touching. Present authors previously found that such visual expectation affects its tactile perception, and called the effect *visual expectation effect*. The authors demonstrated the existence of the effect from a results of a sensory evaluation experiment with combinations of visual and tactile texture samples that are synthesized using a half-mirror. However, the method used in the previous work had problems in qualification of the effect. To design texture quality with the visual expectation effect, engineers need to know the extent of the effect based on a physical value. In this paper, we proposed a quantification method for the visual expectation effect. The method maps tactile perception with a visual prediction onto a tactile scale without the visual expectation. In the method, evaluators compare samples synthesized using a half-mirror with a set of real samples used as a tactile scale, and select real samples that corresponds to the synthesized samples. With the method, we demonstrated a degree of visual expectation effect on tactile roughness perception of plastic textures.

Key Words : Design, Visual Expectation Effect, Surface Texture, Roughness, Kansei Quality

1. 緒 言

ユーザの感性に評価を依存する品質, すなわち感性品質は, 製品の魅力に寄与する重要な設計要件の一つである⁽¹⁾. 製品表面の質感は, 多くの製品において共通した感性品質を構成する要因である. 製品のユーザが見て触れる表面の質感は, 使用の快適性, 品質への期待, 製品コンセプトなどに寄与しうる. 設計者は, これらの影響を踏まえて目的とする質感を実現する材質, 表面の性状, 色彩などの物理的な特性を計画する. そのためには, ユーザが知覚する質感と表面の物理特性との関係を把握する必要がある. この問題に対して, 質感の認知や感性と表面の物理特性の関係性を定量化する研究がなされている(たとえば, ⁽²⁾⁻⁽⁴⁾). 製品表面の触感は, 主に視覚と触覚のいずれか, あるいはその複合の感覚モダリティを介して知覚される. 従来の多くの研究では, 感覚モダリティの条件を固定して, 表面の物理特性が質感に与える影響を明らかにした研究が主である.

一方, ユーザと製品の関わりを時間軸で捉えたと, 状況や目的に応じて感覚モダリティを切り替えて製品全体の質感を評価している場合が少なくない. 特に, 視覚から触覚への切り替えは, しばしば観察される感覚モダリティの遷移である. 遠隔感覚である視覚は, 対象に接触することなくその性質を予測する⁽⁵⁾. たとえば, 製品表面の触感は実際に触れることで触覚を介して知覚する性質であるが, 我々は触れる前に視覚によってその触感を

* 原稿受付 2013 年 3 月 28 日

^{*1} 正員, 東京大学大学院工学系研究科 (〒111-0033 東京都文京区本郷 7-3-1)

^{*2} 東京大学大学院工学系研究科
E-mail: hide@mech.t.u-tokyo.ac.jp

ある程度予測できる。視覚による触感の予測は、対象と接触しても危険がないことを事前に判断する点において生態学的にも妥当な認知活動である。この様に、見て触感を予測した後、触って触感を知覚する状況において、筆者らは視覚の予測が触感の知覚内容自体に影響する効果の存在を既報⁽⁶⁾で明らかにした。そして、この効果を視覚による期待効果 (Expectation effect) と呼んだ。期待効果は、視覚から触覚への遷移時だけでなく、他の感覚モダリティ間の遷移 (たとえば、見た目が味に与える影響⁽⁶⁾) においても確認されている。このことは、感覚モダリティの遷移における期待効果が、視覚と触覚の間のみに働く効果ではなく、感覚一般に見られる現象である可能性を示唆する。したがって、時系列で感覚モダリティを切り替えて使用する製品においては、独立した感覚モダリティ条件下における質感だけでなく、期待効果の影響を含めた質感とその物理的要因を明らかにする必要があると考えられる。さらに、予測と知覚内容の不一致は、その意外性がもたらす驚きの感情を喚起し⁽⁷⁾、それ自体が製品に対する満足度に影響する^{(8)・(11)}。Web やカタログなどの視覚情報による予測と、実際に製品を店頭などで手に持ったときの質感の差違は、日常的に経験する不一致の例である。視覚による期待効果は、期待と実際の不一致に影響するため、結果として製品の満足度に影響しうる因子となる。

以上に述べた背景から、本論文では、視覚による触感への期待効果を抽出する方法を提案する。既報⁽⁶⁾では、工業製品に用いられるプラスチックテクスチャのサンプルプレートを用いて、視覚による期待効果の存在を確認した。その方法は、同一対象の触感に対して、視覚がある場合とない場合の触覚の評価を Semantic Differential(SD)法で独立に取得、得点化し、それらの差違を期待効果とした。しかし、この方法では、SD 法の評価尺度上での差違と、評価対象の表面を構成する物理特性の数値上の差違との関係を明らかにできない。したがって、期待効果が物理的特性においてどの程度発生するのかの評価が難しい。このことから、既報の方法で抽出した期待効果の度合いは、表面を設計する設計者が参照する指標として十分とはいえない。また、それぞれの感覚モダリティで独立した評価を実施するため、個人内の評価の変動や評価条件の影響を潜在的に含む問題がある。

これらの問題を解決するために、本論文では視覚によるテクスチャの触感への期待効果を定量的に抽出する方法を提案する。提案手法は、視覚予測を伴わない触覚評価尺度を構成し、構成した尺度上に視覚予測を伴う触覚をマッピングするアプローチにもとづく。具体的な評価手法として、視覚予測を伴わない触覚と視覚予測を伴う触覚を被験者に直接比較させ、それらの一致性から期待効果を評価する方法を採用する。つまり、視覚予測あり・なしの二条件で触覚サンプルを比較した際、同等の触感と回答した二つの触覚サンプル間における物理属性値の差を期待効果の度合いとして抽出する。この方法により、評価の個人内変動および感覚モダリティごとの評価項目 (例、粗さ感) の意味の相違によるバイアスを抑制する。提案手法をプラスチック・シボに適用し、視覚による触感予測が触覚上の粗さ感に与える影響を定量的に抽出する。

2. 質感特徴としての粗さ感

製品表面の質感は感性品質を構成する重要な因子である。質感を設計するためには表面の物理的特性とユーザの感性にもとづいて判断される質感との関係を明らかにする必要がある。Karana らは、製品表面の素材選択において重要となる選定基準を調査し、①五感を通して知覚される感覚的な特徴、②知覚される価値、連想、感情、文化的意味などの無形の特徴 (ICM: Intangible characteristics of materials, 以下、ICM とよぶ)、③加工方法、耐久性、などの技術的特性、および④環境適合性や成形性などの設計要件の 4 つに分類している⁽¹²⁾。この中で、③および④と比較して、①および②に関する情報が不足しており、その必要性を指摘している。本論文では、Karana らの分類①を、質感特徴 (texture feature) と呼称する。質感特徴は、表面の粗さ感、光沢感、柔らかさ (感) など、視覚や触覚などの感覚を介して知覚される単一の特徴である。一方、ICM は単数あるいは複数の質感特徴の複合に対して、個人の知識、経験、文化背景、状況などにもとづき意味づけられる。したがって、質感特徴は ICM の要因である。また、質感特徴は ICM と比較して個人に依存しない普遍性があると考えられる。そこで、本研究では、触覚の質感特徴における期待効果を研究の対象とする。

質感特徴を構成する次元についての研究は、視覚、触覚それぞれの感覚モダリティで行われている。たとえば、Hollins らはコーデュロイや紙やすりなど日常的に触ることのある 17 種の素材表面を被験者に触らせ、多次元尺度構成法を用いて粗い／なめらか (rough/smooth) および柔らかい／硬い (soft/hard) の直交する二軸を共

通する次元として抽出している⁽⁴⁾。さらに、粘つく／滑る (sticky/slippery) を、第三の評価軸の可能性として抽出している。質感特徴の次元は、材質の種類によって異なることが知られている。一方、Okamoto らは分野横断的なサーベイを通して、粗さ感 (roughness)、硬さ感 (hardness)、および温冷感 (warmness) の三つを触覚における共通因子として抽出している⁽¹³⁾。(この三因子に加えて、摩擦感 (sense of friction) を追加しているが、材料の種類に依存する因子としている)。この中で、粗さ感は個人間の共通性が高い。また、多くの材質において質感への寄与度が大きい。さらに、粗さ感は触覚と視覚の両モダリティで知覚されうる特徴である。したがって、触る前に視覚によって触ったときの粗さ感を予測可能な質感特徴である。(硬さ感や温冷感は、材料によっては視覚による予測自体が困難であり、触って初めて分かる質感特徴である。) 以上から、本論文では質感特徴の一つとして粗さ感における視覚の期待効果に着目した。

3. 状態遷移における期待効果

一般に、製品とユーザの関わりにおいては、対象の認識、探究、使用といった異なる状態間の遷移を含む。この状態遷移において、現在までに得られている情報にもとづき、次の状態に起こりうる事象とその評価を予測する。予測と実際の不一致は、ユーザに製品への注意を促す。そして、不一致の度合いに応じて驚き (surprise) の感情を引き起こす⁽¹⁴⁾。さらに、予測と実際の不一致は、「意外とよかった」、「期待外れ」などの評価に影響する。マーケティング分野において提唱されている期待一致理論 (Expectation confirmation theory) では、製品に対する期待と実際の不一致が満足度に影響するとしている⁽⁸⁾。つまり、製品に対する満足は、製品がユーザに提供する効用だけでなく、製品の経験前の期待に影響を受ける。この様に、事前の期待が事後の経験に与える影響を期待効果と呼ぶ⁽⁵⁾。

期待効果は、2章で議論した感覚特徴のレベルにおいても観察される。たとえば、食品科学の分野において、食品の見た目が味に影響することが知られている⁽⁶⁾。これは、感覚モダリティの状態遷移 (この例では、視覚から味覚への遷移) における期待効果と捉えることができる。本論文で対象とする、視覚から触覚 (体性感覚) への遷移における期待効果と思われる現象も観察されている。たとえば、物体の大きさが重さに影響する大きさ-重さ錯覚 (Size-weight illusion) がある⁽¹⁵⁾。大きさ-重さ錯覚は、同一の質量で大きさの異なる一対の物体の重さ感を比較した際に、大きい方が小さい方よりも軽く知覚される現象である。これは、大きさ (視覚情報) を手掛かりとして重さ (体性感覚情報) を予測した際の期待効果と考えることができる⁽¹⁶⁾。同じ比重の材料でできた物体であれば、大きい物体の方が重いと予測し、実際に持ち上げた際の重さとの差違が強調されて、より軽く知覚されたと考えることは妥当である。柳澤らは、大きさだけでなく物体表面の視覚的特徴が持ち上げ時の重さ知覚に影響することを被験者実験の結果から示した⁽¹⁶⁾。この実験では、被験者に異なるテクスチャの表面を有する同一形状かつ重量の物体を手で持ち上げさせ、その重さを回答させた。その結果、同一の質量かつ形状であるにも関わらず、持ち上げ時の把持力と重さの知覚が物体により異なった。この要因として、表面のテクスチャから予測される摩擦係数や、色彩および光沢から連想される材質の重さと実際の重さを手がかりとした期待効果であると考察している。

一方で、物体表面の触感における視覚の期待効果については、筆者らの既報⁽⁵⁾以外に検討した例が見当たらない。物体表面の視覚的特徴が、触覚の質感知覚に影響するのであれば、製品の使用状況によって異なる感覚モダリティの遷移パターンに応じて、視覚の期待効果を考慮した表面の設計が必要になる。さらに、視覚の期待効果を事前に予測できれば、その影響を利用し、期待効果のある視覚特徴と触覚特徴の組み合わせを創成することで、従来にない質感をもたらすテクスチャが実現可能になると考える。しかしながら、既報⁽⁵⁾では期待効果の存在確認にとどまり、効果の度合いを設計属性レベルで評価できていない。これは、期待効果の抽出手法の限界による。そこで、次章では、既報における手法上の問題点に対する改良手法を提案する。

4. 触感次元への直接マッピングにもとづく視覚の期待効果抽出法

4・1 従来手法の課題

事前の予測が事後の経験に与える影響である期待効果は、予測を伴う経験と予測を伴わない経験との差によって表すことができる。そこで、視覚から触覚への遷移における期待効果は、同一の評価対象に対して視覚予測を伴う触覚評価と伴わない触覚評価の差として抽出できると考えた。既報で提案した手法においては、視覚による予測なし（触覚のみ）、および視覚による予測あり（見てから触る）の二種類の条件下で、同一の触覚用サンプル群に対する質感特徴の評価をSD法⁽¹⁷⁾に代表される評定尺度法を用いてそれぞれ得点化した。そして、視覚予測なしとありの条件間における同一触覚用サンプルに対する評価得点の差分を、期待効果の度合いとして抽出した。視覚予測ありの条件において、ハーフミラーを用いた装置により触覚用サンプルとは異なるサンプルを視覚情報として合成提示した。これにより、操作した視覚情報による予測が触覚に与える影響を明らかにした。

しかし、既報の手法においては、設計に利用可能な期待効果の指標を作成する目的に対して以下の本質的な課題があると考えた。

- ・評定尺度上での主観評価の差違が、物理的特性としてどの程度の量と対応するかが分からない。そのため、抽出した期待効果の度合いを設計の指標として定量的に扱うことが難しい。
- ・視覚予測の有無における触覚評価を独立した試行で行っているため、評価試行による個人内変動（評価試行ごとに発生する評価の変動）と期待効果を分離できない。
- ・視覚予測のありなしの条件は、それぞれ異なる感覚モダリティであるため、質感特徴の評価尺度（SD法における形容詞対の尺度）に対する意味が異なる可能性がある。触覚における期待効果の抽出が目的であるため、触覚のみ（視覚予測なし）の条件における評価尺度で、視覚予測ありの触覚評価を可能とする必要がある。

4・2 提案手法

4・1で示した課題を解決するための手法を提案する。まず、評価したい触覚特徴に対する視覚予測なしの主観評価と、それに対応する物理特性との関係を明らかにし、触覚のみの評価尺度を構成する。そして、構成した評価尺度上に、視覚予測ありの条件で触った評価サンプルの触覚評価を対応づける。その方法として、視覚予測ありの条件で触るサンプルと視覚予測なしの条件で触るサンプルとを直接的に比較させ、触覚特徴における一致性を回答させる。このとき、一致すると回答したサンプル間の評価尺度上における差を期待効果とする。また、視覚予測ありなしの条件下で触ったサンプルが同一で、かつ触覚特徴において一致すると評価者が回答した場合、期待効果は確認されなかったと判定する。以下に、手法の具体的な手順を説明する。

- 1) 期待効果を抽出したい触感特徴（たとえば、粗さ感）を選択する。選択した触覚特徴に対する感覚上の評価尺度を感覚尺度 X とする。
- 2) 視覚予測なし（触覚のみ）の条件において、感覚尺度 X の度合いが段階的に異なるサンプル群を用意する。このサンプル群を感覚尺度 X の得点順に並べ、スケールサンプル集合 $\Psi = \{\phi_i\}, i=1, 2, \dots, n_\phi$ とする。スケールサンプル集合は、触覚のみの条件における触感特徴のモノサシとして用いる。たとえば、粗さ感の場合、段階的に粗さ感の異なるサンプルを粗さ感のモノサシとして用意する。このとき、理想的には感覚尺度 X 上において隣り合うサンプル間の距離 $|X(\phi_i) - X(\phi_{i+1})|$ （ただし $X(\phi_i)$ は ϕ_i の X 上の得点）が等間隔になる様にサンプルを選定する。
- 3) 感覚尺度 X と相関する物理特性 Y を求める。たとえば、粗さ感に対する表面粗さが対応する物理特性となる。また、スケールサンプル ϕ_i の物理特性 Y 上の物理量を $Y(\phi_i)$ とする。
- 4) 視覚予測による触覚の期待効果が発生する視覚と触覚の組合せを網羅的に調べるために、視覚予測ありの条件における触覚用サンプル群 $T \subseteq \Psi$ と視覚用サンプル Φ を用意する。そして、 T と Φ の要素間の全通り組合せを合成サンプル集合 $\Omega = \{\omega_{ij}\} = \{(\tau_i \in T, \phi_j \in \Phi)\} \ (i=1, \dots, n_\tau, j=1, 2, \dots, n_\phi)$ とする。
- 5) 図1に示すハーフミラーを45度に配置した提示装置を用いて、無作為に選択した触覚用サンプル τ_i と視覚用サンプル ϕ_j の組を仮想的に合成し合成サンプル ω_{ij} を提示する。そして、 ω_{ij} を視覚予測ありの条件で触り感覚尺度 X について評価する。具体的には、視覚予測なし条件のもとスケールサンプル集合 Ψ （すなわち、モノサシ）の全要素を一つずつ触り、感覚尺度 X に関して合成サンプル ω_{ij} との一致性を評価する。このとき、感覚尺度 X に関して合成サンプル ω_{ij} と同程度と判断されたスケールサンプル集合 Ψ の部分集合 Ψ' を取得する。また、 Ψ' の代表サンプル $\phi' \in \Psi'$ を求める。

- 6) 物理特性 Y における期待効果の度合いは、感覚尺度上での評価が同程度となるサンプル間の物理特性の差、すなわち $\Delta Y = Y(\phi') - Y(\tau_i)$ として表す。また、感覚上の期待効果は $\Delta X = X(\phi') - X(\tau_i)$ となる。
- 7) 以上を、合成サンプル集合 Ω の全ての要素について実施し、条件Ⅱにおいて視覚用サンプル Φ が触覚用サンプル T の感覚尺度 X に関する触感に与える期待効果を求める。

Fig.1 Top view of evaluation setting

5. プラスチック・シボの粗さ感における視覚的期待効果

5・1 シボの粗さ感への提案手法の適用

工業製品の表面に多用される素材としてプラスチック、表面処理としてシボ加工がある。シボは、革製品の表面におけるシワ模様を模倣した面である。プラスチック成形においては、金型の表面にエッチングやサンドブラストを用いてシボ模様の凹凸をつけ、その模様を成形面に転写する。塗装などの二次的な表面処理を必要とせず安価であり、傷を目立たなくし、意匠性、触り心地、すべり防止において優れているため、多くの工業製品の表面に用いられている。シボは、目的に応じて段階的に表面の凹凸度合いを操作することが可能である。シボの粗さについては、日本インダストリアルデザイナー協会（JIDA）が標準化しており、JIDA STANDARD SAMPLESとして実物のサンプルを提供している。

そこで、4章で述べた提案手法をプラスチックのシボにおける粗さ感に適用し、視覚情報を変えることによる期待効果の抽出を試みた。JIDA STANDARD SAMPLESでは、シボの粗さ感が感覚上等間隔で異なるサンプル群が用意されているため、これを粗さ感 X のスケールサンプル $\Psi = \{\phi_i\} (i=1, 2, \dots, 10)$ として用いた。具体的には、HIPS樹脂に成形された梨地面を有するサンプル板であり、表面粗さ16.53から74.60までの9段階、および平滑面のサンプル板を合わせた計10サンプルを視覚予測なし（触覚のみ）の条件で提示する粗さ感のスケールとした。図2に、平滑面、および表面粗さ46.14と74.60の梨地サンプル表面を示す。

一方、視覚的期待効果の影響を評価するサンプル（視覚予測ありの条件）として、表1に示す視覚用サンプル Φ および触覚用サンプル T の全通り組合せを、図1で示した提示装置を用いてハーフミラーで合成提示した。すなわち、4（視覚） $\times$ 2（触覚）=8組の合成サンプル $\Omega = \{\omega_{ij}\} (i=1, 2, j=1, 2, 3, 4)$ を評価対象とした。合成した触覚用サンプル T は、スケールサンプル Ψ から中程度の梨地粗さ面（Ra46.14）および平滑面を選択した。視覚用サンプル Φ は、二種類の表面性状（平滑および梨地粗さ46.16 μm ）とメッキの有無（HIPS無垢、およびABSにメッキ）の組合せとした。視覚用サンプルの表面性状を操作した理由は、視覚の予測と触覚の知覚との差違が、期待効果にどの様に影響するかを調べるためである。すなわち、視覚用サンプルと触覚用サンプルで粗さが異なる（視覚が平滑面で触覚が梨地面、またはその逆）組合せにおける期待効果とその度合いを明らかにする。一方、メッキの有無は、視覚情報としての光沢感が粗さ感の期待効果にどの様に影響するかを調べるた

めに用いた。すなわち、メッキによる光沢面は滑らかな触感を期待させ、その予測と触覚との粗さ感の差違が期待効果を発生させると考えた。

10名の20代学生を被験者に、図1に示した提示装置を用いて合成サンプル ω_{ij} （右側）とスケールサンプル群 Ψ （左側）を比較評価させた。比較評価の各試行で一つの合成サンプルを合成サンプル集合 Ω から無作為に選択して提示した。各試行の間では、合成サンプルが見えないように被験者とサンプルの間を暗幕で遮断した。各試行における評価方法は次の通りである。まず、暗幕を取り去り、合成サンプルに触らずに粗さ感を視覚で予測させた。次に、合成サンプルを右手人差し指で触察させた。触察行為の影響を排除するために、人差し指を左右になぞる動作で触り粗さ感を評価するように求めた。次に、右側に設置したスケールサンプル群 Ψ を、視覚予測なし（触覚のみ）の条件で平滑面から粗い面をもつサンプルへと順に一つずつ触らせた。触察条件は、合成サンプルと同じとした。そして、それぞれの比較において、「右が粗い」、「同じ粗さ」、「左が粗い」の3水準で左右のサンプルを評価させた。「同じ粗さ」とするスケールサンプルが一つに特定できない場合、複数のサンプルに対する回答を許した。左右で異なる触覚用サンプルに対して「同じ粗さ」と回答した場合、視覚予測による影響（すなわち期待効果）があると判定した。逆に、左右で同じ触覚用サンプルに対して「同じ粗さ」と回答した場合、視覚予測による影響は見られないとした。

Table 1 Characteristic of evaluation samples

No.	Visual sample Φ (material, texture)	Tactile sample T (material, texture)
1	ϕ_1 : HIPS resin, Flat	τ_1 : HIPS resin, Flat
2	ϕ_2 : HIPS resin, Pear-skin 46.14	τ_2 : HIPS resin, Pear-skin 46.14
3	ϕ_3 : ABS resin gloss plated, Flat	
4	ϕ_4 : ABS resin gloss plated, Pear-skin 46.14

Fig 2. Photos of HIPS resin samples used in the experiment as scale samples (35mm square)

5・2 シボの粗さ感における視覚的期待効果の抽出

5・1で説明した実験において、被験者に視覚予測ありの条件で左側に提示した合成サンプルと同等の粗さを感じるスケールサンプル（触覚のみの条件で右側に提示）を一つ以上回答させた。視覚用サンプルのそれぞれについて、同等の粗さと評価したスケールサンプルごとの回答数を集計した。回答数のピークをとる粗さのスケールサンプルと合成提示で用いた触覚用サンプルが異なる場合（すなわち、左右で異なる触覚用サンプルに対して「同じ粗さ」と回答した被験者が最も多い場合）、それらの表面粗さにおける差が期待効果となる。一方、回答数のピークが合成提示で用いた触覚用サンプルにある場合（すなわち、左右で同じ触覚用サンプルに対して「同じ粗さ」と回答した被験者が最も多い場合）は期待効果なしと判定した。

図3に、合成した触覚用サンプルをHIPS梨地の表面粗さ46.14 μm （以下、梨地46.14）とした場合の、同じ粗さと回答したスケールサンプルの回答数を示す。各折れ線は、合成した視覚用サンプルを表す。

視覚用サンプルと触覚用サンプルが同一の場合（すなわち視覚用サンプルが梨地46.14の場合）、回答のピークが梨地56.54であった。すなわち、触覚情報のみの場合に比べて、視覚情報を提示した場合に一段階粗く判断

されていることが分かる。視覚情報を HIPS の平滑面とした場合も、同様に梨地 56.54 においてピークが見られる。しかし、梨地 59.62, および梨地 64.61 における回答数との差は 1 回答であり、視覚と触覚が同一の場合と比べて、より粗く知覚していることが分かる。視覚情報をメッキ表面とした場合、回答数のピークは梨地面で梨地 59.62, 平滑面で梨地 64.61 から梨地 74.60 であり、触覚のみ、あるいは視覚と触覚が同一の場合に比べて、より粗く知覚する期待効果が顕著に現れている。

Fig.3 Visual expectation effect on HIPS pear-skin 46.14 as tactile samples for each visual sample

図 4 に、梨地 46.14 を触覚用サンプルとして合成したサンプルに対して、各被験者が「同じ粗さ」と回答したスケールサンプルにおける表面粗さの中央値を合成した視覚用サンプルごとに示す。図中の一点鎖線は、触覚用サンプルの表面粗さ 46.14 μm を示している。被験者 10 以外の被験者において、視覚による予測を伴う場合に 46.14 μm よりも粗いサンプルを選択していることが分かる。また、視覚用サンプルごとに知覚される粗さが異なり、梨地 46.14 (触覚用サンプルと同一) よりもメッキ平滑面が視覚用サンプルである場合に、より粗く知覚している傾向が 10 人中 7 名の被験者で見られる。一方、梨地メッキ面および HIPS 平滑面においては個人差が大きく、表面粗さ 46.14 μm よりも粗いと知覚した被験者は半数を満たさない。したがって、平滑面およびメッキの単独での効果に共通性があるとはいえない。

Fig.4 Median of roughness perceived with HIPS pear-skin 46.14 as tactile samples and each visual sample for each subject

視覚サンプルによる期待効果を定量的に検証するため、被験者が「同じ粗さ」と回答した粗さスケールサンプルの順位について、視覚用サンプルを因子とした Kruskal-Wallis 検定を行った。Kruskal-Wallis 検定は、ノンパラメトリックなデータ群間の差を検定する方法であり、各群の分散に隔たりのない正規分布を仮定できない場合に用いられる。本実験の場合、4 種類の視覚用サンプルの条件下における被験者の回答がデータ群である。Kruskal-Wallis 検定の結果、有意水準 5% で、視覚用サンプルが異なることによる粗さ感評価の有意差が確認された ($p=0.029$)。このことは、同一の触覚用サンプルに対し視覚情報を変えると触覚上の粗さ感が有意に変化することを表している。触覚サンプルと同一の視覚サンプル (梨地 64.61) と比べて、触覚評価に有意な差が生じた視覚用サンプルを調べるために、視覚サンプル梨地 64.61 を対照群、その他 3 つの視覚サンプルを処理群としたノンパラメトリック多重比較検定 (Steel の方法) を行った。その結果、視覚サンプルがメッキ平滑面のときに梨地 64.61 に比べてより粗く知覚される効果が確認された ($p=0.014$)。以上から、視覚情報をメッキ平滑面とすることにより、梨地 64.61 がより粗く知覚される期待効果を示すことが分かった。

この効果は、対比効果 (contrast effect) によって説明できると考えられる。対比とは、一般に、感覚刺激 A と感覚刺激 B との比較から、その差が実際よりも強調されて知覚される現象である。たとえば、色彩における背景と前景の対比が知られている。これは、同一の前景色に対して、異なる背景色を付加すると、前景が背景と対比し異なる色として知覚される現象である。一方、感覚刺激 A から予想 (期待) した感覚刺激 B と、感覚刺激 B の経験との差が対比効果を発生する場合がある。たとえば、物体の重さ知覚においては、体性感覚だけでなく視覚が影響する。同一の質量で大きさの異なる物体の重さを比較したとき、小さい方が重く、大きい方が軽く感じる。これは、視覚で予想した重さ (大きい方が小さい方より重い) と、持ち上げ時に体性感覚で知覚した重さ (大きい方と小さい方が同一の重さ) との差が、より強調された結果 (すなわち対比効果) であると考えられている⁽¹⁶⁾。本実験の結果において、平滑面あるいはメッキ面の視覚情報 (平坦で光沢を有する面) は、それを触ったときの滑らかな触感 (粗くない触感) を期待させる。そして、視覚情報によって期待した滑らかさと触覚上の粗さとの差が対比して知覚された結果、視覚予測なしの触覚評価よりも粗く知覚される期待効果が発生したと考えられる。光沢と粗さによる対比効果は、実験前に仮説として予想した現象であった。しかし、その度合いがどの程度であるか、また光沢が粗さよりも大きな対比効果をもたらすことについては、提案手法の結果から得られた知見である。

対比効果の発生要因について、Helson の順応水準理論⁽¹⁸⁾を用いて考察する。順応水準とは知覚における中性点であり、たとえば粗くも滑らかでもない感覚水準である。一般に、順応は、順応した質の感度を弱めると同時に、その対にある質の感度を高める⁽¹⁹⁾。たとえば、滑らかな質に順応した場合、その対である粗い質における感度を高める。順応水準理論では、順応水準が焦点刺激 (評価対象)、文脈刺激、および (個人差などの) 残余刺激によって変動し、知覚内容は順応水準との比較により決まるとしている。ここで、文脈刺激とは経時的に存在し文脈を形成する刺激であり⁽¹⁸⁾、本実験においては視覚情報により予測された触覚がこれに対応する。すなわち、光沢および平滑面から視覚的に予測された触覚上の滑らかさが、文脈刺激として触覚の順応水準を滑らか側にずらし、触覚上の粗さに対する感度を増加させた結果、対比効果が現れたと考えられる。順応水準理論にもとづく対比の仮説は、これまで同一の感覚モダリティ (たとえば色彩における対比) においての検証が主であり、本研究で対象としている異なる感覚モダリティを介した対比効果については研究例が少ない。今後、異なるモダリティをまたいだ対比のメカニズムを解明する研究が望まれる。

図 5 に、合成サンプルの触覚サンプルを HIPS 平滑面とした結果を示す。いずれの視覚サンプルにおいても、回答数のピークが平滑面である。また、視覚サンプル間における Kruskal-Wallis 検定においても有意差が確認されなかった。このことから、HIPS 平滑面においては、粗さと光沢の視覚情報による期待効果が有意に発生しているとはいえない。

Fig.5 Visual expectation effect on HIPS Flat as tactile samples for each visual sample

梨地面 ($R_a=64.61$) 発生した期待効果が、平滑面において観察されなかった要因について考察する。本実験の計画においては、平滑面を表面粗さが異なる梨地サンプルの一つとして用いた。つまり、平滑面を表面粗さが極小の梨地面とみなした。しかし、実験において被験者は平滑面と梨地面を異なる種類の表面として認識していた場合が考えられる。この場合、表面の粗さという性質の差ではなく、表面の種類の認識にもとづいてサンプル間の一致性を判断していたことになる。実験では、評価者に視覚用サンプルから表面の粗さを予測させた。そして、表面の粗さという性質の尺度上で視覚による期待効果を評価した。ところが、視覚による予測と触覚の間において表面の種類が異なると認識した場合、触覚によって認識した表面の種類による判断が支配的となる。その結果、平滑面においては視覚による粗さ感の期待効果が発生しにくくなったと考えられる。

これを一般化すると、触感の認知には表面の種類や材質といった「種類の認識」と、その種類がもつ粗さなどの「性質の知覚」の少なくとも二つの側面があると考えられる。視覚予測においては、輝度分布などから知覚される表面の性質にもとづき触覚上の性質と類型を予測する。つぎに、対象に触り触覚上の性質を知覚する。さらに、知覚した性質から対象の類型を認識する。このとき、視覚による予測と触覚の間で類型の認識に不一致がなければ、性質のみの差違が問題となり性質における期待効果が生じうる。本実験で梨地面 ($R_a=64.61$) に確認された期待効果がこれに該当する。一方、種類の認識において不一致が生じた場合は、触覚における認識が支配的となり性質における期待効果が発生しにくくなると考えられる。

ただし、類型とは性質が似ている対象を集めて共通点をまとめた型である。そのため、類型の不一致に気づかない範囲において、性質における期待効果が生じ、その結果、触覚のみの認識とは異なる類型を認識する場合が考えられる。たとえば、樹脂を革と認識する視覚の期待効果などである。このような期待効果が発見できれば、工業的ににおいてさらに有効な知見になると考える。

6. 結 論

本論文では、視覚による予測が触覚に影響する期待効果を定量的に抽出する方法を提案した。提案手法は、触覚のみのモダリティ条件において構成した感覚尺度上に、視覚の予測を伴う触覚評価をマッピングする方法にもとづく。提案手法を、工業製品に用いられるシボの粗さ感に適用し、ハーフミラーを用いて合成した視覚刺激の特徴が、触覚における粗さ感に与える影響を期待効果として抽出した。その結果、同一の表面粗さを有するシボ (梨地 46.14) において視覚情報による期待効果を確認した。また、本手法の適用により、視覚刺激の特徴が粗さ感の期待効果にどの程度寄与するかを触覚サンプルの表面粗さにより定量的に示した。具体的には、見た目の粗さよりもメッキによる光沢が、触覚としての粗さ感をより増加させる効果を観察した。そして、視覚サンプルをメッキの平滑面、触覚サンプルを梨地 46.14 として合成すると、視覚情報がない場合の梨地 64.61 または梨地 74.60 と同等の粗さ感となることが分かった。これは、本研究で用意した触覚スケール用の梨地サンプルにおいても

とも表面粗さが大きいサンプルであり、実際の触覚サンプル（梨地 46.14）よりも3または4段階粗いサンプルであった。この現象の要因として、視覚による予測と触覚による知覚との差がもたらす対比効果を考えた。

感性品質の設計においては、製品のユーザが経験する感性情報を定量的な設計パラメータとして指標化し、設計者の感覚や感性のみに依存しない計画が求められる。本研究で提案した手法の応用として、時系列で視覚から触覚への遷移を伴う使用を想定する製品において、感覚モダリティ間の影響を考慮した質感の設計が考えられる。たとえば、視覚刺激と触覚刺激を操作することにより、ある制約条件のもとで目的とする触感（質感）を実現する設計などである。実際の設計においては、加工またはコストの制約により要求されるテクスチャを作成することが難しい場合がある。その様な場合に、本手法を用いて視覚情報が触感に与える影響を明らかにすることで、視覚的な特徴の操作による触感の設計を可能にする。

本論文で提案した手法は、粗さ感の様に単一の感覚尺度における期待効果の抽出を可能とした。しかし、触感には粗さ感以外にも、硬さ、温冷感など2章で議論した少なくとも三次元以上の感覚尺度の複合からなる。今後は、多次元の感覚尺度における期待効果を抽出する方法を検討する必要がある。また、期待効果の発生条件、およびそのメカニズムは未解明の現状であり、これを明らかにすることは予測（期待）と経験との間の時系列遷移を伴う感性品質の設計の基礎理論として重要であると考えられる。

謝 辞

本研究は科研費（No. 23760127）および、東京大学デザインイノベーション社会連携講座の支援により実施した。本研究の実施にあたり、東京大学大学院工学系研究科の村上存教授、プロダクトデザイナーの中川聡氏（東京大学特任教授）には貴重な御助言を頂いた。心より御礼申し上げます。

文 献

- (1) Yanagisawa H., “Kansei quality in product design,” *Emotional engineering: service development*, Fukuda, S., ed., Springer, (2010), pp. 289–310.
- (2) Motoyoshi I., Nishida S., Sharan L. & Adelson E.H., “Image statistics and the perception of surface qualities”, *Nature*, Vol. 447, No. 7141 (2007), pp. 206-209.
- (3) Chen X., Barnes C. J., Childs T. H. C., Henson B. & Shao F., “Materials’ tactile testing and characterization for consumer products’ affective packaging design,” *Materials & Design*, Vol. 30, No. 10 (2009), pp. 4299–4310.
- (4) Hollins M., Bensma, S., Karlof K. & Young F., “Individual differences in perceptual space for tactile textures: Evidence from multidimensional scaling”, *Perception and Psychophysics*, Vol. 62, No. 8 (2000), pp. 1534-1544.
- (5) 柳澤秀吉, 高辻賢司, “視覚による事前予測の影響を考慮したテクスチャの感性評価手法”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 78, No. 796 (2012), pp. 2-13.
- (6) Deliza R. & MacFie H. J. H., 1996, “The generation of sensory expectation by external cues and its effect on sensory perception and hedonic ratings: a review,” *Journal of Sensory Studies*, Vol. 11, No. 2(1996), pp. 103–128.
- (7) Ludden G. D. S., Schifferstein H. N. J. & Hekkert P., “Beyond surprise: A longitudinal study on the experience of visual-tactual incongruities in products,” *International Journal of Design*, Vol. 6, No. 1(2012), pp. 1–10.
- (8) Oliver R. L., “Effect of expectation and disconfirmation on post exposure product evaluations: An alternative interpretation,” *Journal of Applied Psychology*, Vol. 62, No. 4 (1977), pp. 480-486.
- (9) Demir E., Desmet P. M. A. & Hekkert P., 2009, “Appraisal patterns of emotions in human-product interaction,” *International Journal of Design*, Vol. 3, No. 2(2009), pp. 15-32.
- (10) Murakami T., Nakagawa S. & Yanagisawa H., 2011, “Proposal of ‘Expectology’ as design methodology,” *Proceedings of International Conference on Engineering Design* (2011), (in CD-ROM).
- (11) Schultz W., Dayan P. & Montague P. R., “A neural substrate of prediction and reward,” *Science*, Vol. 275, No. 5306(1997), pp. 1593-1599.
- (12) Karana E., Hekkert P. & Kandachar P., “Material considerations in product design: A survey on crucial material aspects used by product designers”, *Materials & Design*, Vol. 29, No. 6 (2008), pp. 1081-1089.

- (13) Okamoto S., Nagano H. & Yamada Y., "Psychophysical dimensions of tactile perception of textures," *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 6, No.1, (2013), pp. 81-93.
 - (14) Itti L. & Baldi P., "Bayesian surprise attracts human attention," *Vision Research*, Vol. 49, No. 10(2009), pp. 1295–1306.
 - (15) Flanagan J.R. & Beltzner M.A., "Independence of perceptual and sensorimotor predictions in the Size-weight illusion", *Nature Neuroscience*, Vol. 3, No. 7 (2000), pp. 737-741.
 - (16) 柳澤秀吉, 勇木徳仁, "物体の表面属性に対する視覚的感性が持ち上げ時の体性感覚に与える影響 (感覚モダリティの遷移における予測感性) ", 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 78, No. 789 (2012), pp. 609-620.
 - (17) Osgood C. E., Suci G. J. & Tannenbaum P., *The measurement of meaning*, University of Illinois Press (1967).
 - (18) Helson, H., *Adaptation level theory*, New York Harper & Row (1964).
 - (19) 境敦史, 曾我重司, 小松英海, ギブソン心理学の核心(2002), pp. 95-96, 勁草書房.
-