

自動車における質感の計測と評価

川 澄 未来子

Quantitative Analysis of Visual Feeling for Surface in Automotive Interiors and Exteriors

Mikiko KAWASUMI

This article describes a method of quantitative analysis for visual feeling related to the appearance of the surface in automobile products. I will cite three examples from our past studies: analyzing the feeling of depth produced by automotive painted panels, measuring the color difference for plastic parts with texture of automotive interiors and visualizing the relation among a lot of visual feeling represented by adjectives for headlamp. Some ideas and problems for measuring and evaluating the heterogeneous surface of the industrial goods are shown by concrete examples.

Key words: visual feeling, automobile products, painted panel, plastic surface, headlamp

脳科学の世界において、人間が心の中で感じるさまざまな質感はクオリアとよばれている¹⁾。季節感あふれる環境の中で生きてきた日本人は、クオリアに対する感受性が高いそうである。クオリアは一般に数字で表現しにくいとされるが、日本人ならではの繊細な感覚や発想がモノづくりの分野にも活用していけると頼もしい。

紙、木、布、革、樹脂など、実世界に存在する物体の表面を見たときに感じる質感を物理的に表現する作業は単純ではない。色票やディスプレイ色とは異なり、非均一・非均質な視覚刺激を対象としているからだ。しかし、工業製品の設計や品質管理の世界では、質感をできる限り定量的に取り扱っていく必要がある。ここでは、自動車関係の研究事例を取り上げながら、工学的応用の視点から質感をとらえてみる。

1. 自動車における感性品質

自動車はヒトや地球環境へ配慮した開発が進む一方で、総合的な販売台数が伸び悩む時代を迎え、低コストでより品質の高い製品を提供していく要請が高まっている。こう

した時期には、ユーザー目線のモノづくりがますます求められるため、機能品質（ユーザビリティなど）や感性品質（高級感や快適性など）に対する技術力を向上させ製品価値を高めていく必要がある。

「感性品質」とは、人間の五感に訴える魅力にかかわる性質を示す言葉である。図1に、自動車における感性品質の例を示す。エンジン、内外装品、情報機器などに対して、視覚、聴覚、触覚、嗅覚、体勢感覚などに関するさまざまな感性品質が存在する。表1は、設計・管理上のねらいにより感性品質を2つに分類したものである。前者は、プラス方向を引き出すタイプで、「心地よさ」「高級感」などに代表される。後者は、構造上・材料上の要件などを優先させることにより必然的に生じるマイナス面を低減させようとするタイプで、「疲労感の低減」「煩わしさの低減」などが当てはまる。こちらは工業製品に特有のもので、美術工芸品にはみられない。

2. 自動車における質感

図2は、感性品質の対象を分類したものである。例え

愛知淑徳大学文化創造学部文化創造学科（〒464-8671 名古屋市千種区桜が丘23） E-mail: future@asu.aasa.ac.jp

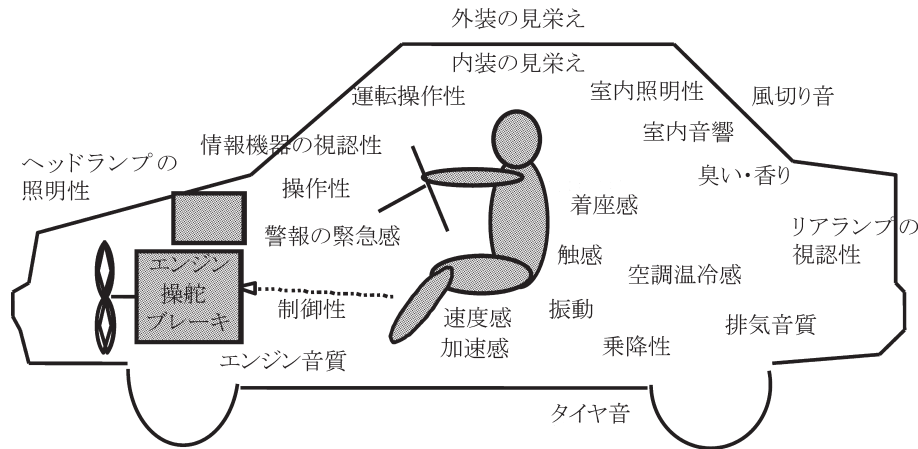


図1 自動車の感性品質の例。

表1 設計・管理上のねらいによる感性品質の分類。

ねらい	感性品質の向上 (プラスの増加)	感性品質の維持 (マイナスの除去)
目標感覚の例	心地よさ 高級感 本物感 躍動感	目障り感の除去 耳障り感の除去 疲労感の低減 煩わしさの低減

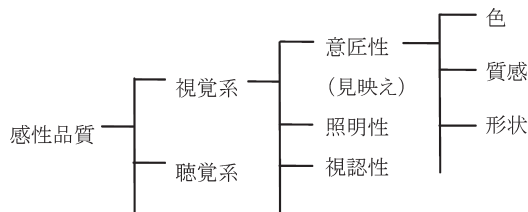


図2 感性品質の対象の分類。

ば、自動車において視覚系では、内外装品の「意匠性」、ヘッドランプや車室内空間の「照明性」、前方視野や情報機器の「視認性」などがある。そのうち、意匠性はさらに、「色」「質感」「形状」などに分けられる。このうち質感は、視覚系だけではなく聴覚系、触覚系においても存在する要素である（ドアの閉まり音質、シート表皮材の触感など）。

図3は、視覚系における「色」と「質感」の違いをまとめたものである²⁾。形容詞で表現すると、色は「明るい」「赤みの強い」、質感は「艶がある」「きめの粗い」などとなる。両者に共通するのは、視覚刺激に基づいて生じる感覚量という点である。また、両者の違いは、色は少なくとも1種類の光学情報があれば生じる感覚であるのに対し、質感は複数の光学情報（二次元平面上で変化する光学分布、観察・照明角度に応じて変化する光学分布、時間的に変化する光学分布など）に基づいて生じるという点であ

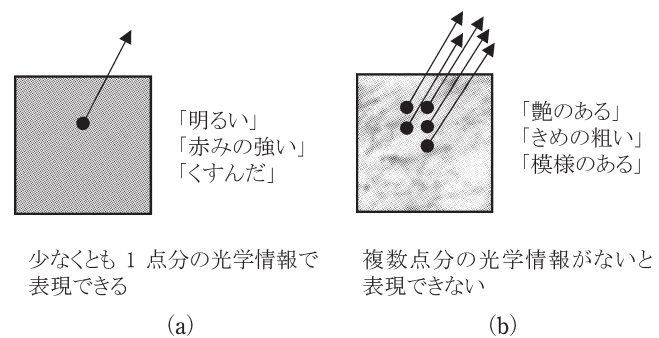


図3 色と質感。(a) 色, (b) 質感。

表2 自動車における質感の例。

上位概念	高級感	本物感	上品さ	統一感
下位概念	外装	深み感 光沢感	平滑性 透明感	肉持感 鮮映性
	内装	風合い 深み感	ソフト感 連続感	光沢感 色ずれ感
	ランプ	ジュエリー感 ムク感	光沢感 一体感	立体感 浮遊感 すっきり感

る。聴覚系、触覚系の場合も、質感は何らかの多次元的な物理量で表現されることになる。

表2に、自動車の分野で具体的に登場する質感の例を示す。外装では「平滑性」「鮮映性」、内装では「風合い」「ソフト感」、ランプ器具の意匠については「ジュエリー感」「浮遊感」などがある。これらは、物体表面の物理的・物質的な状態と密接な感覚量で、質感表現としては低次の概念に位置づけられる。一方で、「高級感」「本物感」「上品さ」などは、下位概念の感覚が複合されて生じる上位概念の感覚である。これまでは、それぞれの領域で個々に研究が取り組まれてきている³⁻⁵⁾。

私たちは日常の中で、非均一・非均質の視覚刺激に囲ま

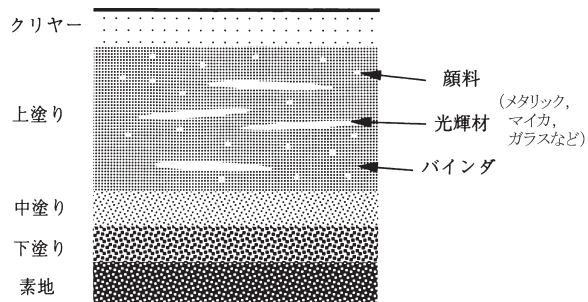


図4 塗装断面の構造。

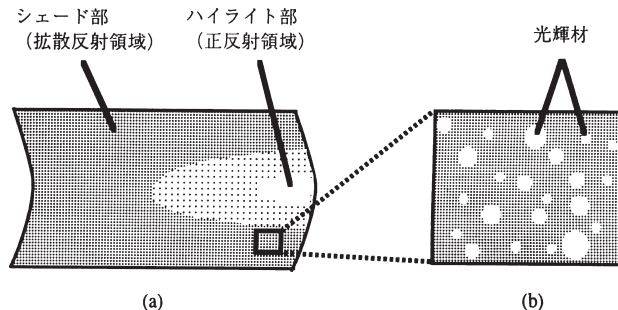


図5 塗装深み感を形成する2大要因。(a) 色の見え (巨視的要因), (b) 奥行き感 (微視的要因)。

れて生活しており、色と質感を分離せずに同時に観察している。実験室環境で色票やディスプレイ表示色を観察するのは異なり、物体表面の色に注目する場合にも何らかの質感を知覚しながら観察していることになる。工業製品の表面を計測・評価する場合も、分布刺激の中で色や質感が複雑に絡んで存在していることを認識して取り組まねばならない。

本稿では、工業製品における質感の計測・評価について、3つの研究事例を取り上げながら説明する。特に、均一・均質でない視覚刺激を対象とすることから、実験刺激の生成や呈示の方法、また、人間の感覚量の計測や評価の方法などを工夫しながら取り組んでいる様子について説明したいと思う。

3. 塗装の深み感

塗装の質感のひとつである「深み感」の研究事例を紹介する⁹⁾。色の見え(色相・明度・彩度)との関係性を調べ、深み感を最大に引き出すための色の見えの条件を検討した事例である。

塗装の質感は、塗装構造(図4)の中のさまざまな要因(例えば顔料や光輝材の種類や量)に起因して生み出される感覚である。マクロな見え(図5(a))に基づいて知覚される質感(「鮮映性」など)と、ミクロな見え(図5(b))に基づいて知覚される質感(「平滑性」など)がある。

塗装深み感は、1990年代はじめの塗装の高級化志向の流れに乗ってニーズが高まった質感のひとつで、表1においては感性品質の向上のほうに分類される。図5に示すようにマクロ・ミクロの見えが複合された感覚であるため、2つの立場から並行して研究を進めた。以下では、マクロな見えの研究について述べる。

自動車ボディーの曲面上のマクロな見えは、ハイライトの幅や色づき方の違いとして現れ(図5(a))、その様相が深み感の知覚に影響を与える。ボディー曲面上の色の見えと深み感知覚量との関係を調べるため、塗装のマクロな見

えをコンピュータ上で忠実に再現・制御することができるカラーシミュレーターを開発した(図6)。カラーシミュレーターでは、塗装サンプルの表面反射率(実測値)を用いた光学計算に基づいてCGを生成するため、再現された塗装の質感がリアルで、また、曲面上の色の分布(図7)を制御することもできる。表示させる形状、照明する光源、観察条件などを任意に設定できるため、質感の解析以外にも多目的に活用できる。

塗装のCGを使って深み感の感覚量を計測し、色の見えの各成分との関係性を調べた。感覚量の計測には一対比較法(5段階)を用いた。その結果、図8に示すように、深み感を向上させる条件として、(a)色相:Munsell Y付近、(b)明度:低いほど(特にシェード部の明度)、(c)彩度:高いほど(個人差あり)、などの方向性が明らかになり、深み感の設計指針を得ることができた。

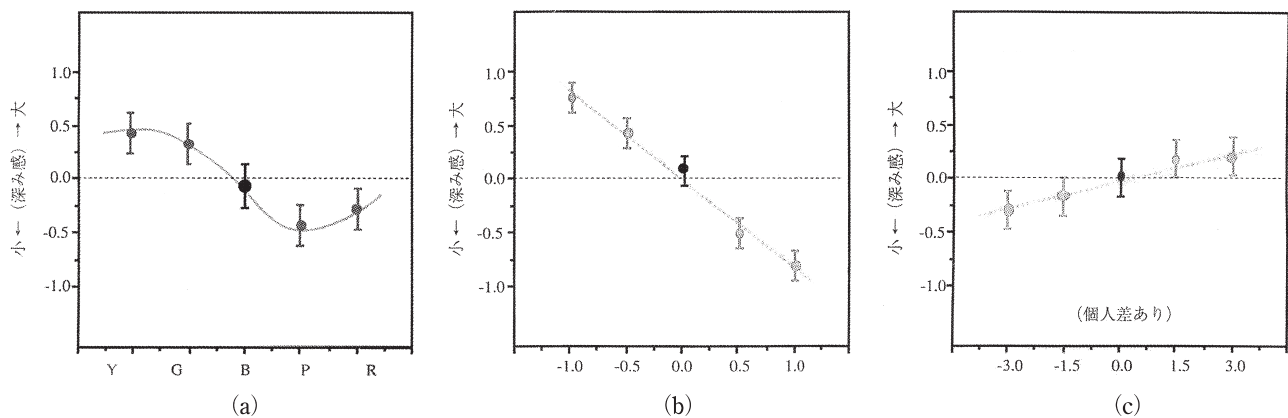
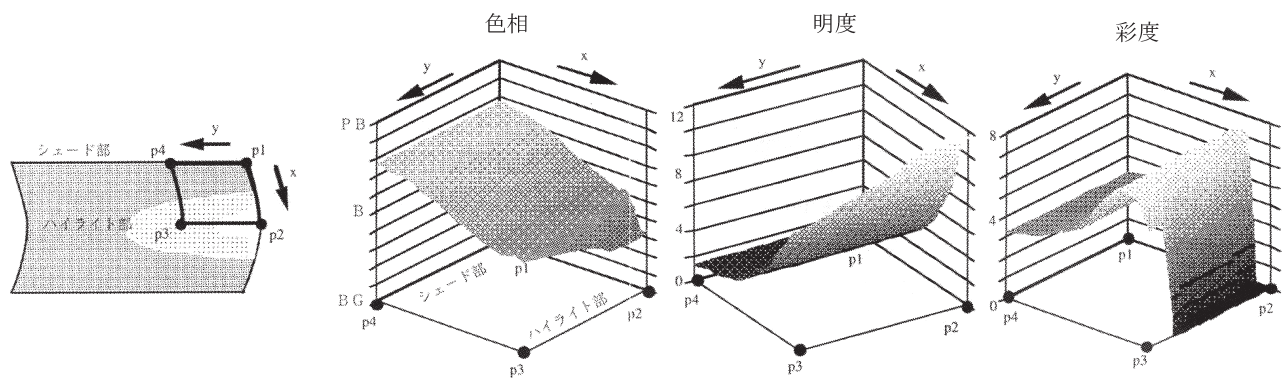
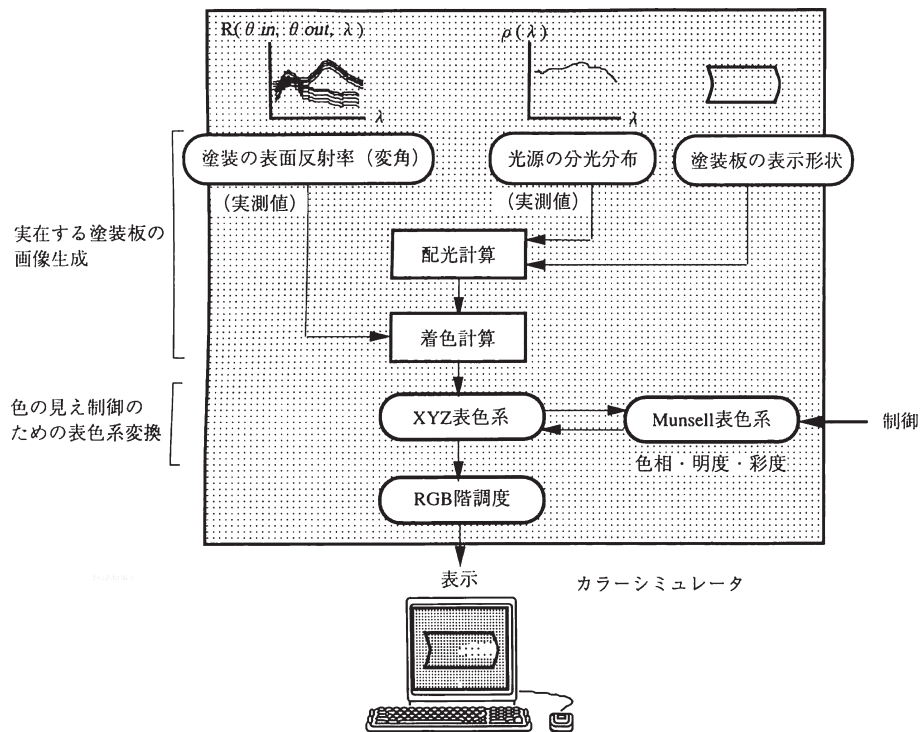
CG利用の利点は、(1)実物の塗装を製作する必要がないため、実験コストが低減されること、(2)色相・明度・彩度を独立に変動させた塗装を任意に生成できるため、色成分ごとの寄与を明確にできること、(3)現状の製造技術の制約を受けずに、これまでにない塗装を探索的に生成し評価できること、などである。

塗装製品のようなマクロな見えを対象に質感に関する実験を行う場合、こうしたリアルなCG上で物理量をシミュレーションできるツールの存在は心強い。

4. 内装の色ずれ感

自動車の内装は、材質や表面テクスチャーが異なる部品を組合わせてつくられる。隣接の部品間で色や艶が合わないことを表す感覚が「色ずれ感」である。表1の分類では、感性品質の維持のほうに位置づけられる。ここでは、樹脂部品の色の品質管理のために開発した色ずれ判定システムについて述べる。

自動車内装に使う樹脂部品の表面には、シボとよばれる



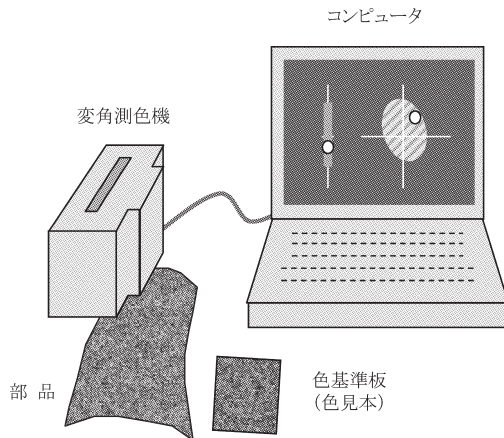


図9 色ずれ判定システムの構成⁷⁾.

表3 色ずれ判定式⁷⁾.

明度差	$\Delta E_{\text{brightness}} = T_d \Delta L^*_{\text{diffuse}} + T_s \Delta L^*_{\text{specular}}$ $L^*_{\text{diffuse}} : \text{拡散反射成分 (偏角 } 110^\circ) \text{ の } L^* \text{ 値}$ $L^*_{\text{specular}} : \text{正反射成分 (偏角 } 15^\circ) \text{ の } L^* \text{ 値}$ $T_d, T_s : \text{各成分に対する重み係数}$
色度差	$\Delta E_{\text{chromaticity}} = \Delta C^*_{\text{diffuse}} / S_i$ $C^*_{\text{diffuse}} : \text{拡散反射成分 (偏角 } 110^\circ) \text{ の } C^* \text{ 値}$ $S_i : \text{人間の色弁別特性 (}_i \text{ は色方位)}$

型押しのテクスチャーが付いている。シボの種類（革シボ，機械シボなど），粗さ，深さなどは製品によってさまざま，同色の部品でもシボの違いで仕上がりの色や艶が異なる。ここでは，目視検査員に頼ってきた色ずれ判定作業をシステム化した例について説明する。

色ずれ判定システム⁷⁾は，市販の変角測色機とコンピューターから構成され（図9），コンピューターには色ずれ判定式（表3）が実装されている。変角測色機で部品の色を測定すると，目標色からの色ずれの大きさと方向が定量的・視覚的に表示されるようになっている。色ずれ判定式は，樹脂表面を光学的に実測して分析した結果に基づいて作成した。判定式の係数は，システム利用の前に予め導出して実装する。3つの係数のうちの2つ（ T_d ， T_s ）は目視検査員の判定ノウハウに関するもの，残るひとつ（ S_i ）は目の色弁別特性⁸⁾である。色弁別特性は目標色によって異なるため，内装色が決定する度に導出し直す。各係数の導出は，目視検査員を被験者，部品色を実験刺激とする心理物理実験によって行う。実験刺激として微小色差のカラーバリエーションが必要になるが，試作レスに実験を進めるために，さらに次のように工夫した。

図10に，仮想的に部品のカラーバリエーションを生成する方法⁹⁾を示す。実物の部品，色を表示するディスプレイ，ハーフミラーを図のように配置する。ハーフミラーを

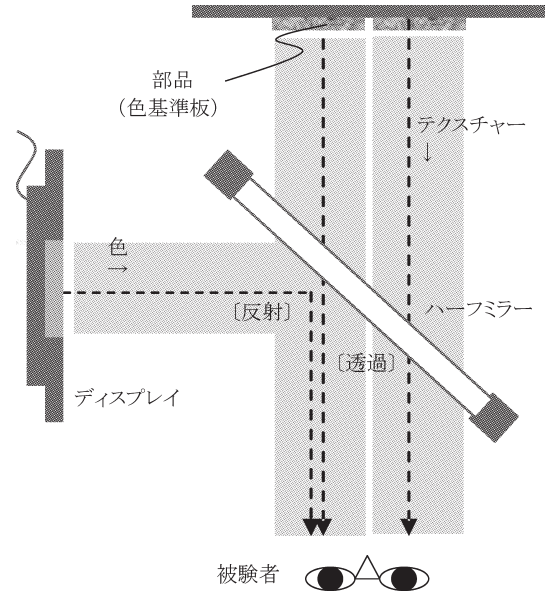


図10 透過的着色のしくみ⁹⁾.

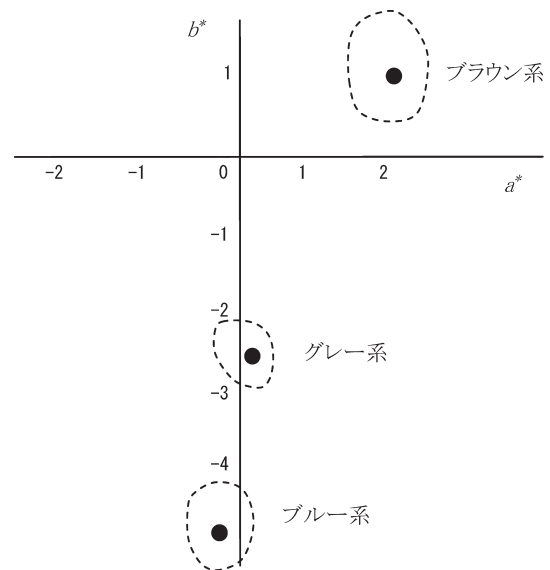


図11 3部品色の色弁別特性。

介して部品表面のテクスチャーの見えとディスプレイに表示させた色の見えとが光学的に重ね合わされ，被験者は透過的に着色された部品色の見えが仮想的に観察できる。つまり，部品表面の印象（物質感や存在感など）はリアルなまま，部品に任意の色を着色できる。ここでは，色弁別特性を導出した部品色（実物）を正面に2点並べて設置し，片方のみにディスプレイ表示色が重なるようにし，微小色差を判定させる心理物理実験（極限法）により色弁別楕円を計測した。図11は，部品色3種類に対して導出した色弁別特性の結果である。

表面テクスチャーをもつ製品の色を扱うために，テクス



図12 実験刺激の例。

表4 因子分析の結果。

輝き性	3D性	まとまり性	クオリティー性
キラキラ感 ジュエリー感 光沢感	立体感 奥行き感 飛び出し感 浮遊感	すっきり感 一体感 統一感	高級感 上品さ 本物感

チャーによる質感や部品の存在感を保持した状態で色の実験を行えるよう工夫した研究事例である。

5. ヘッドランプの質感

ヘッドランプは、フロントマスクを顔にたとえるなら目に相当する部分で、個性や表情を表現する大きな役割を担っている。ここでは、ヘッドランプの器具デザインに対して質感を評価した結果を利用して、ユーザーがランプに対して抱く印象構造を検討した研究¹⁰⁻¹²⁾について説明する。ヘッドランプの質感は、表1においては感性品質の向上のほうに分類される。

さまざまなデザインのヘッドランプ（30種類）を対象に、開発の現場でよく使用される質感（15項目）の評価を実施した。実験刺激には、5か国18メーカーから選定した30車種のヘッドランプの写真画像を用いた（図12）。実物に近い雰囲気伝えるために、1つのヘッドランプにつき写真3ショットずつを用意した。評価用語には、ランプの質感を表現する用語「キラキラ感」「立体感」「すっきり感」など15項目を選定し、また、感覚量の計測にはSD法（5段階）を利用した。

得られた結果を因子分析した結果、4つの因子が抽出された（表4）。それぞれの因子グループに「輝き性」「3D性」「まとまり性」「クオリティー性」と名づけた。図13（a）は、「輝き性」「3D性」の二次元空間上に評価用語をマッピングした結果である。用語間の距離関係や、ヘッドラン

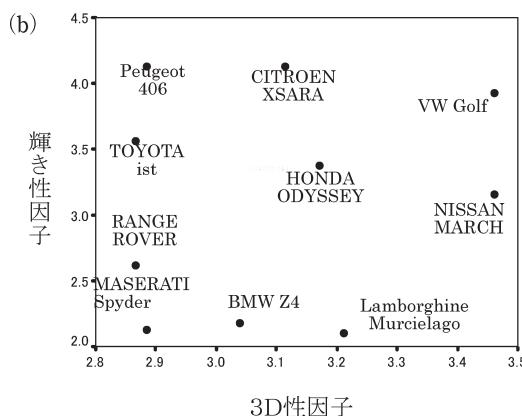
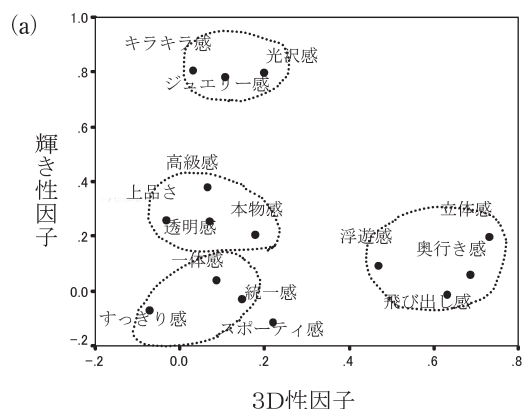


図13 評価結果の一例。(a) 用語の位置関係、(b) 車種の位置関係。

プに対してユーザーが抱く印象構造がよくわかる。また、図13（b）は、同じ空間上に車種名をマッピングした例である。各ヘッドランプの特徴が可視化され、車種の位置づけが直感的に理解しやすい。なお、図13は、男性被験者のみの結果であるが、女性の結果との間に違いが認められ、ヘッドランプに対する印象構造が男女で異なる可能性が示された。このように、質感に対する評価結果を用いてユーザーの印象構造を可視化することで、ターゲットユーザーにあった製品を提供するためのデータを蓄積することができる。

なお、こうした写真画像を使った実験では、質感のリアリティーが伝わるかどうか懸念される。そのため、実験刺激として実物、写真画像、Webアンケート用の小さい写真画像を使った場合に、評価結果が変化するかについて調べる実験も行っている¹¹⁾。質感の種類によっては、実験刺激が実物でなければ評価しにくいものもある（「重厚感」など）。一方、実物を使った実験は時間や場所が制約されるため大勢の被験者の協力が得られにくいという難点があるが、Webアンケートでは幅広く数多くの被験者に協力を仰ぐことができる。それぞれの利点を理解しながら、実

験刺激や実験方法を使い分けていくことが大切である。

塗装の深み感、内装の色ずれ感、ヘッドランプの質感は、それぞれ異なる現場から生じた研究テーマである。しかしいずれも、表面が非均一・非均質な分布刺激を対象にしていることから、色票やディスプレイ表示色のような均一刺激のときには生じない実験上の難しさがあった。塗装の深み感では実験刺激として光学計測に基づくCG画像を利用し、内装の色ずれ感では透過的な着色手法を利用するなど工夫した。また、ヘッドランプの質感評価では、場面によって実物・写真・Webアンケート用画像など実験刺激を使い分けている。

対象素材によって、製品部位によって、大きさや形によって、あるいは、製品の使われ方や目的によって、求められる実験データの内容や精度は異なる。産業上の応用の場合、必ずしも従来の基礎研究のような実験精度が必要ではない。課題の性質ごとに必要な精度や実験の在り方を見極めることが大切で、そのために多くの実験事例やノウハウを蓄積していく必要がある。例えば、新しいデザイン創成に向かう場合と品質管理に用いる場合とで、大きく課題の性質が異なる。マクロな見えとミクロな見えのどちらに着目するかによって、実験準備の方向性や留意点が異なってくる。こうした大きな枠組み別に実験ノウハウが蓄積され整理されていくと、さらなる開発のコストダウンにつながる。

また、ヘッドランプの研究で示したような質感全体の体系化作業も、今後重要になると考えられる。さまざまな質感の間の関係を構造化して可視化する作業である。開発関係者の中でも、デザイナーと技術者と管理者との間では、感覚や日常的に用いる専門用語が異なることもある。その

ため、開発に携わる人の感覚を構造化・可視化して共有できるようにすれば、開発工程の効率化やよりよい製品企画に役立つ。特に性別・年代・世代・国籍・生活様式などの消費者属性による感覚構造の違いを調べていくことは、ユニバーサルな製品が求められる時代においてますます重要になると予想される。

文 献

- 1) 茂木健一郎：脳とクオリア（日経サイエンス社、1997）。
- 2) 日本色彩学会：色彩用語事典（東京大学出版会、2003）p. 183, pp. 333-334.
- 3) 松田守弘：“自動車塗装品質の計測”，計測制御，**23**（1984）312-316.
- 4) 吉本照子，田端 洋：“塗膜質感の生理心理的解析—質感評価における色の影響と眼の焦点調節反応—”，ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集，**8**（1992）503-508.
- 5) 服部 寛，中島毅彦，和田隆志，久保田毅，松田守弘：“自動車の塗装における深み感の形成因子”，自動車技術会論文集，**25**，No. 1（1994）124-128.
- 6) 川澄未来子，内山祐司，石原利員，辻 紘良：“カラーシミュレータによる塗装深み感の評価と設計への応用”，映像情報メディア学会誌，**52**（1998）528-534.
- 7) 川澄未来子，石原利員：“自動車内装樹脂部品の色ずれ判定法の開発”，映像情報メディア学会誌，**55**（2001）1291-1297.
- 8) D. L. MacAdam: “Visual sensitivities to color differences in daylight,” J. Opt. Soc. Am., **32**（1942）247-274.
- 9) 川澄未来子，鈴木和彦：“テクスチャーをもつ色に対する色感度特性の計測—自動車内装樹脂部品の色ずれ判定への応用—”，日本色彩学会誌，**32**（2008）166-173.
- 10) 川澄未来子，林美恵子，古田愛子，高木美優，夏目和典，横川麻美：“自動車リアランプの感性品質評価—車格とデザインの関係—”，第8回日本感性工学会大会予稿集（2006）p. 112.
- 11) 川澄未来子，古田愛子，夏目和典，仲田麻美：“自動車リアランプに対する印象評価研究—実物・写真紙・Web実験の比較—”，日本色彩学会誌，**31**，Suppl.（2007）98-99.
- 12) 川澄未来子，夏目和典，仲田麻美：“自動車リアランプに対するイメージ構造の可視化”，第10回日本感性工学会大会研究発表論文集（2008）22E-05.

（2009年7月7日受理）