

122 製品設計のためのロバストな感性評価法の提案

An Approach to Robust Kansei Evaluation Method for Product Design

平間裕二郎 (東大院)
柳澤 秀吉 (東大)

村上 存 (東大)

Yujiro HIRAMA, The University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo
Tamotsu MURAKAMI, The University of Tokyo
Hideyoshi YANAGISAWA, The University of Tokyo

We propose a quantitative method for evaluating users' feeling towards a product, which we call Kansei, with attention paid to improvement of its robustness. First, we verify the robustness of Semantic Differential(SD) method which is commonly used for Kansei evaluation by evaluating the reproducibility of results. We carried out SD method based experiments twice after six months interval with same manner and subjects, and compare the difference of the results. In order to improve the robustness of Kansei evaluation, we attempt two approaches: a method for evaluating reproducibility of response in a questionnaire survey applying pen pressure information measured by pen tablet, and a method for (partially) externalizing an evaluation structure of Kansei by investigating the relations of physical attribute such as fluid resistance and feeling such as sense of speed. We demonstrate the effectiveness of these methods with experimental results.

Key Words: Robust Kansei Evaluation, Reproducibility of SD method, Fluid Resistance, Sense of Speed, Product Design.

1. はじめに

製品設計において、機能性や性能に加え、ユーザの感性を満たす価値の作りこみが重要となってきている。感性を考慮した設計には、感性を定量化する手法が必要であり、感性の定量化手法として、Semantic Differential (SD) 法や一対比較法などのアンケートに基づく感性評価法が利用されてきた¹⁾²⁾。これらの感性評価法は、製品の属性と感性評価語の関係の定量化が可能である。

一方、感性評価は様々な要因から構成される³⁾。従来の感性評価法では、感性をブラックボックスとして扱い、刺激と反応の因果関係を統計的に求める方法が主である。そのため、これらの方法による感性評価の結果は信頼性、再現性に問題がある場合が少なくない。ユーザの感性を設計へ応用するには、結果に信頼性、再現性がある感性評価法が必要である。本稿では、信頼性、再現性のある感性評価法をロバストな感性評価法と定義し、これについて議論する。

本稿では、まず従来の感性評価法で得られた回答の信頼性の検証を行う。また、ロバストに感性評価を行う方法として、評価実験において回答の信頼性や再現性を推定できるデータを取得するアプローチと、回答の評価構造を(部分的に)顕在化するアプローチの二つを考える。第1のアプローチの具体的な例として、回答時間や筆圧情報による回答の再現性の推定を試み、第2のアプローチの例として、物理的特性を用いて、感性評価の構造の部分的な顕在化を試みる。

2. 従来の感性評価法の再現性に関する実験

2.1 SD法による腕時計の感性評価

感性評価において、評価結果とともにその結果の信頼性、再現性も重要である。しかし、感性をブラックボックスとして扱っている従来の感性評価法では、信頼性、再現性の検証が難しい。そこで、従来の感性評価法における回答の再現性の検証として、SD法による感性評価実験の回答の変化を評価

した。被験者は東京大学大学院工学系研究科修士課程1年生9名、評価対象は51個の腕時計、形容詞対は5対で、7段階のアンケート調査を行った。実験は2005年4月⁴⁾と2006年1月との計2回実施し、この回答結果の変化を評価した。Table 1に実験で用いた形容詞対を示す。

Table 1 実験で使用した形容詞対

1	かっこいい	—	かっこ悪い
2	フォーマルな	—	カジュアルな
3	安価な	—	高価な
4	斬新な	—	保守的な
5	静的な	—	動的な

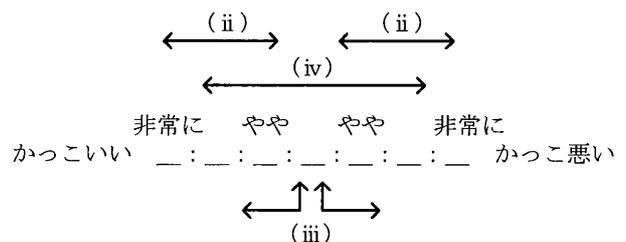


Fig. 1 回答の変化の分類

2.2 同一被験者における時間による回答再現性

2回の実験で、感性評価の変化の度合いが同じであったとしても、「フォーマルな」から「カジュアルな」のように評価が逆転した場合と、評価が「フォーマルな」のままで変化しなかった場合には、回答の変化の性質が異なる。そこで、実験ではFig. 1に示すように、

- (i) 評価に変化がない。
- (ii) 同じ側の評価だが、評価の度合いが異なる。
- (iii) 「どちらでもない」といづれかの側の間で評価が変化した。

(iv) 評価が逆転した。
に分類し、分析を行った。

2.3 再現性に関する考察

被験者9名、評価対象51個、形容詞対5対より総数2295の回答を得た。これを2章2節に示した方法で分類した結果をFig.2に示す。総回答数に対して約60%の回答は、2回の実験で評価が変化した。また、総回答数の約24.4%は中立といずれかの側の間で評価が変化した、約10%は、評価が逆転した。感性評価においては、このようなデータの信頼性、再現性を考慮に入れる必要がある。

Fig.3はTable1で示した5対の形容詞対に対して、形容詞対ごとに比較した図である。形容詞対2(フォーマルな-カジュアルな)は、他の形容詞対に比べ回答に変化のなかった回答の数が少なく、評価が逆転した回答(前記ivの場合)の数が多し。一方で、形容詞対4(斬新な-保守的な)は、他の形容詞対に比べ回答に変化がなかった(前記iの場合)回答の数が多く、評価が逆転した回答の数が少ない。この結果から、形容詞対による回答の変化の度合いが異なる可能性があることがわかる。

SD法などの感性評価法では、被験者間のばらつきが評価できる。しかし、個人差が大きくても、個人個人で再現性が高ければ、個人に関してその感性評価は一定であり、特定のユーザやマーケットを対象とした設計やデザインを考える場合の有効な情報になり得ると考えられる。逆に、個人差が少ないが再現性の低い感性評価は、グループで同一の影響を受けている場合(例えば流行など)が考えられる。したがって、感性評価法の信頼性の向上には、個人差と再現性に基づいた分類が有効であると考えられる。そこで、横軸に2章2節の「iの回答の数-ivの回答の数」、縦軸に1回目の実験での回答の標準偏差(被験者間で標準偏差を取った後、評価対象に対して平均を取った)をとり、Table1の5つの形容詞対を分類した(Fig.4)。形容詞対2(フォーマルな-カジュアルな)を見ると、個人間でのばらつきが大きく再現性も低い。一方、形容詞対3(安価な-高価な)や形容詞対4(斬新な-保守的な)は個人間での差が小さく再現性は高い。形容詞対3,4は共通性、再現性の高い価値観であると考えられる。

3. 感性評価のロバスト性向上の可能性

3.1 回答の確信度、再現性の評価

2章の感性評価法の再現性に関する実験の結果から、SD法を用いた感性評価実験では、回答に変化が生じ、形容詞対によって回答の変化の度合いが異なることを確認した。回答に変化が生じた理由として、

- ・感性評価がしにくく、確信をもって回答できなかった。
- ・2回の実験の間に外的要因が影響を与えた。

等が考えられる。外的要因は感性評価実験のみからは、その影響度合いを調べにくい。それに対して、回答への確信の度合い(以下、回答の確信度)は実験時の被験者の状況の分析から推測が可能ではないかと考えた。そこで、本研究では、回答時の評価シート記入の筆圧と回答時間から回答の確信度の取得を試みた。

2章で行ったSD法の実験のうち、2回目の実験で回答時の筆圧と回答時間を、ペンタブレットを用いて計測し、回答

の変化と比較した。被験者には筆圧と回答時間を計測していることは告げていない。被験者ごとに評価の変化と平均回答時間、平均筆圧のそれぞれの関係をFig.5, Fig.6に示す。回答時間はひとつの感性評価を行ってから、次の感性評価を始めるまでに要した時間である。回答の変化は、2章2節で分類した方法を採用した。

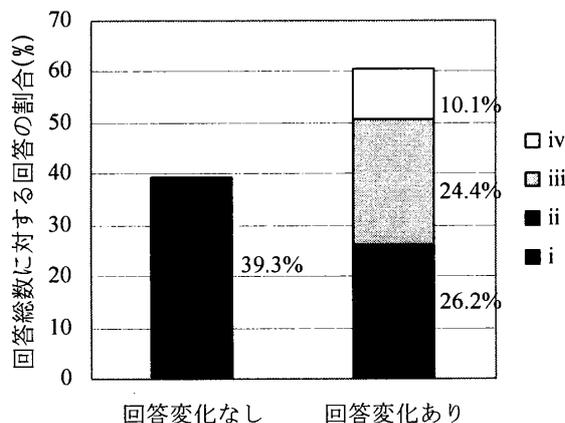


Fig. 2 感性評価の回答の変化

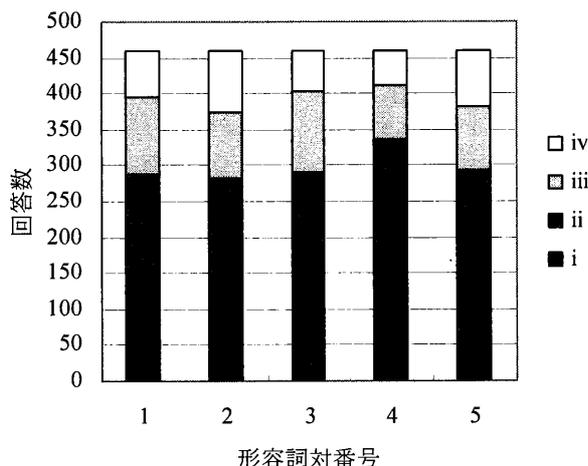


Fig. 3 形容詞対ごとの感性評価の変化

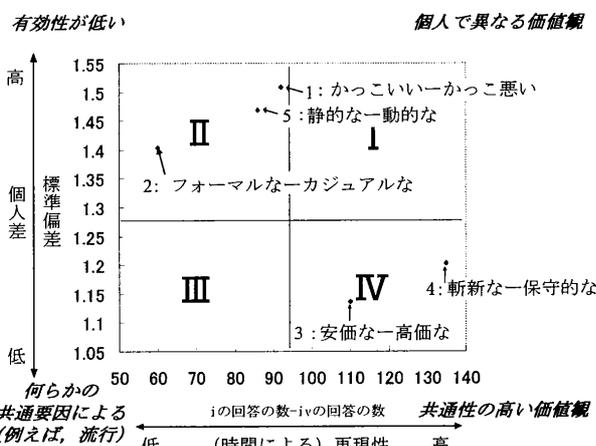


Fig. 4 個人差と再現性

現段階では、評価の変化と平均筆圧に相関は確認できていない (Fig.5). 統計的な有意性は未確認であるが、回答の変化が iii のときには、回答に時間がかかる傾向が見られる (Fig.6). その理由として、決定的な要因が見出せなかったために判断に時間を要し、結果的に回答が前記 iii の場合となった可能性などが考えられる。これが統計的に有意であれば、例えば評価実験において回答に要した時間から、回答にロバスト性を向上するためにフィルタをかけるなどの方法が考えられる。

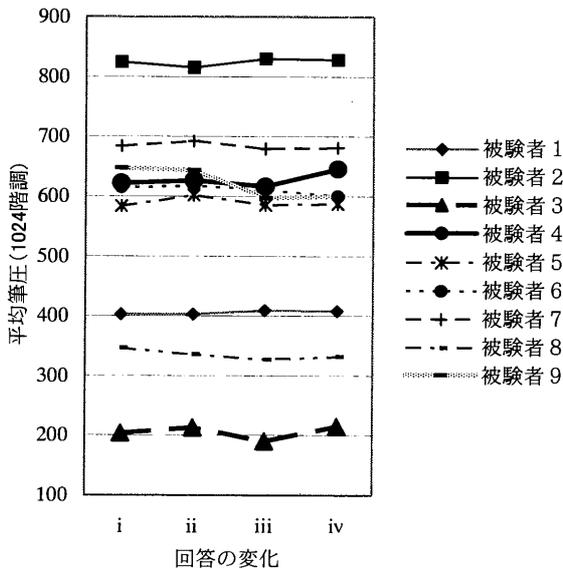


Fig. 5 感性評価の変化と筆圧の感性

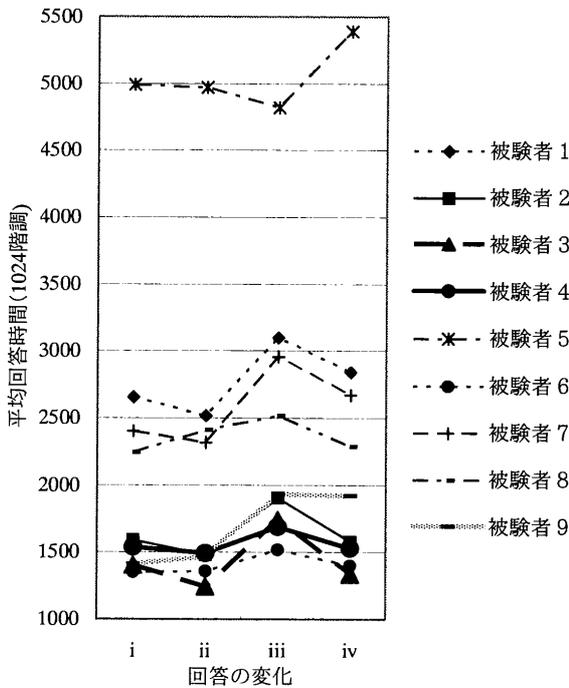


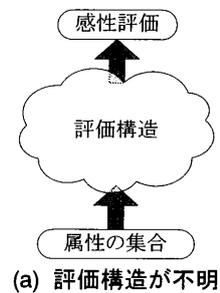
Fig. 6 感性評価の変化と回答時間の関係

3.2 評価構造の顕在化

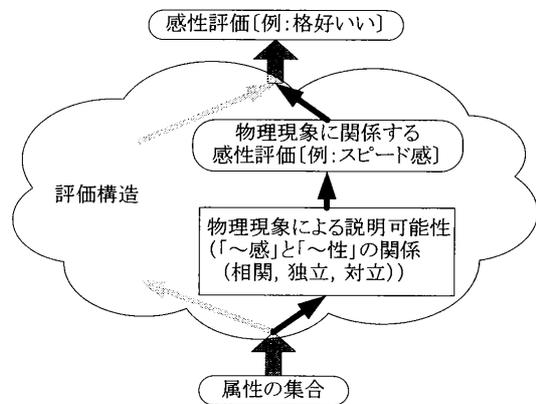
感性評価は様々な要因から構成される。直感的に評価する

場合もあれば、過去の経験などをもとにして、何かを考えてから評価する場合もある³⁾。そのため、実験に関する被験者の回答を統計的に処理するだけで、評価構造が不明である (Fig.7 (a)) と、その結果のロバスト性は高くない。ロバストな感性評価には、感性の評価構造の分析が必要である。

機械製品では、機能の実現が物理現象によってなされる場合も多い。例えば、自動車が速く走る機能は、抵抗係数の減少により実現される。そのため、機械製品に関する感性評価には、物理現象との関連を見出しうるもの (例えば「スピード感」と、そうでない高次のもの (例えば「格好いい」) がある。2次元の片持ち梁において、主応力と、形状に対して人が感じるイメージとの相関を確認した研究も報告されている⁵⁾。従って高次の感性評価も、直接それを行なうのではなく、物理現象による説明性を有する感性評価との関係を考慮して行なうことにより (Fig.7 (b)), 部分的な感性の評価構造の顕在化ができる可能性がある。次章においてその具体的な例を考える。



(a) 評価構造が不明



(b) 評価構造の(部分的)顕在化

Fig. 7 感性の評価構造

4. 物理現象による感性評価構造の顕在化の試み

4.1 流体力学的特性とスピード感

流体力学の知識を持っている人は、その知識からスピードのある物体について何らかのイメージを持っている可能性が高い。また、流体力学の知識を持たない人でも、車などのスピードのある物体を見た経験から、スピード感のある物体のイメージを持っている可能性がある。つまり、流体力学的特性から、スピード感の評価構造を顕在化できる可能性がある。

そこで、抵抗係数、揚力係数の異なる複数のモデルを作成し、そのモデルの数値流体解析ソフトで求めた抵抗係数、揚

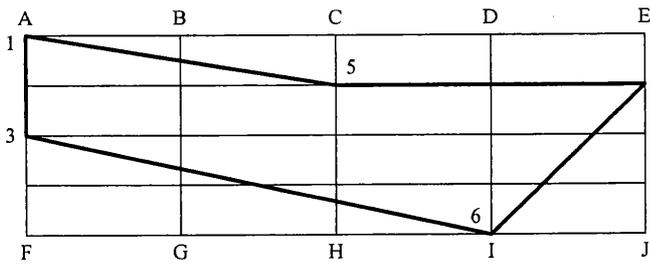


Fig. 8 モデルの選定方法

Table 2 モデルの分類

Group	Fig.8のモデルの番号
Group 1	1, 2, 3, 29, 30
Group 2	4, 5, 6, 28
Group 3	7, 8, 9
Group 4	10, 11, 12
Group 5	13, 14, 15
Group 6	16, 17, 18
Group 7	19, 20, 21
Group 8	22, 23, 24
Group 9	25, 26, 27
Group 10	31, 32

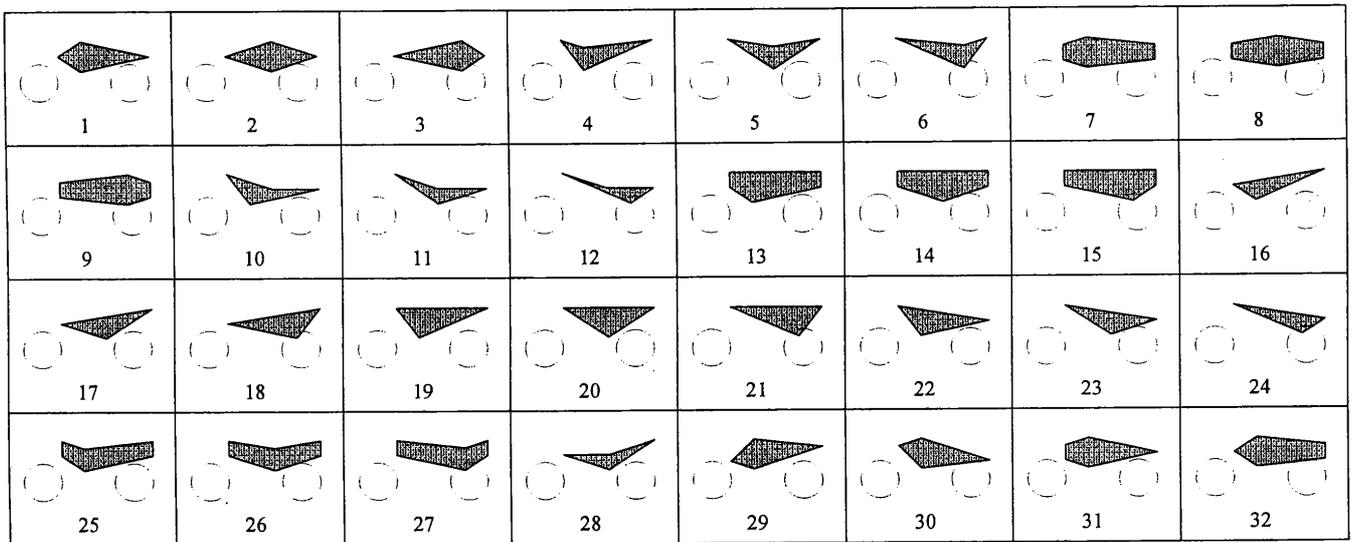


Fig. 9 実験に使用したモデル(左が前)

力係数と感性評価の比較を行った。

4.2 モデルの選定

実験では、オートバイのボディの上半分を簡略化した形状を想定して、以下の条件で作成した多角形のバリエーションをモデルとして用いた (Fig.8)。

- (1) 縦横比1:3で4マス×4マスの長方形AEJFを作成する。
- (2) 横方向の長さを固定するため、AF上(ボディ前端)とEJ上(ボディ後端)の1点をそれぞれ選ぶ(例えば Fig.8 の1, 2)。
- (3) (2)で選んだ点と同一の点もしくは(2)で選んだ点より2マス下の点を選ぶ(例えば Fig.8 の3, 4)。これにより、ボディの前端、後端が尖った場合と平らな場合の2パターンが作成できる。
- (4) BG, CH, DI上から2点を選ぶ。この2点は、(1), (2)で選んだ点と結んだとき、結んだ線が交差しないように選ぶ。
- (5) 縦方向の高さを一定にするため、(1)~(4)で選んだ点のいずれかが、AE上, FJ上にある多角形を選ぶ。
- (6) 多角形の下部(例えば Fig.8 折れ線3-6-4)が下に凸である多角形を選ぶ。(多角形の下部が凹形状や直線であった場合、車輪の取り付け位置により評価が変わる可能性があるため、除外した。)

(1)~(6)の条件だけでは、モデル数が膨大(数千通り以上)なため、以下の条件から特徴的な形状の32個のモデルを選んだ (Fig.9)。

- (7) Fig.8のAF上, EJ上に直線を持つ場合と持たない場合。
- (8) 重心位置が、前側, 中央, 後側にある場合。
- (9) 多角形の上部(Fig.8の折れ線1-5-2)が上に凸形状, 上に凹形状, 直線の場合。
- (10) 多角形の全体的傾向が右下がり形状である場合と右上がり形状である場合

モデルの大きさは、実際のオートバイのボディの大きさを参考に、縦0.5m, 横1.5mに設定した。多角形のみでは、走っている状況が想像しにくいので、直径0.6mの車輪を前後に付加した。実際の大きさのモデルでの感性評価実験は困難なため、縦横の比率を保持したまま、手に持てる程度の大きさのカードに縮小して実験した。

4.3 感性評価実験

Fig.9のモデルを使用し、感性評価実験を行った。被験者は、機械工学系の学生9名と教員1名、計10名である。感性評価実験は以下の手順で行った。

- (1) Fig.9に示した全モデルを提示し、「最もスピード感のあるモデル」、「最もスピード感のないモデル」をそれぞれ1つ

選ばせる。

(2) (1)で選んだモデル以外のモデルを回収し、Table2 の Group1 に分類されるモデルを提示する。モデルはカードに印刷して使用し、大きさの比較として同縮尺で縮小した 170cm の人間の絵を同時に提示した。

(3) 「非常にスピード感のある」、「スピード感のある」、「ややスピード感のある」、「どちらでもない」、「ややスピード感のない」、「スピード感のない」、「非常にスピード感のない」の 7 つが書かれた投票箱を設置し、(1)で選定したカードを両端に表示した上で、(2)で提示したモデルを投票箱に入れてもらう。

(4) Table2 の残りの Group に対して(2)、(3)の手順を繰り返す。

SD 法のようにモデルを完全にランダムな状態で提示すると、感性評価は前のモデルの評価に影響を受ける可能性が高い。特に、Fig.9 のモデルは簡易で類似した形状が多いため、

前のモデルに影響されやすい。また、全体的な形状の差異の影響で部分的な形状の差異が意識されない可能性がある。例えば、Fig.9 の 1~3 のモデルは同時に提示されれば、重心位置の違いを識別できるが、ランダムに提示すると、同じ形状が再度提示されたと認識してしまう可能性が高い。これらの理由から、実験では、まず「最もスピード感のあるモデル」と「最もスピード感のないモデル」を選ばせ、これらを絶対的な指標を決定し、これらとの比較で感性評価を行わせた。また、部分的な差異を認識できるように、Table2 に示すように全体的な形状特長にもとづいて分類し、Group ごとに提示した。

なお、感性評価語は「スピード感のある—スピード感のない」のほか、今回は分析の対象としなかったが安全性と関連した「繊細な—頑丈な」、安定性と関連した「安定感—躍動感」についても同様の実験を行った。

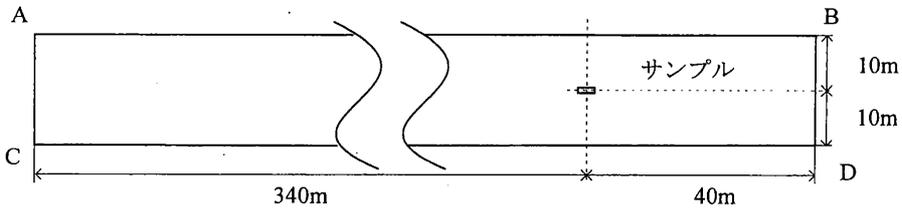


Fig. 10 解析領域

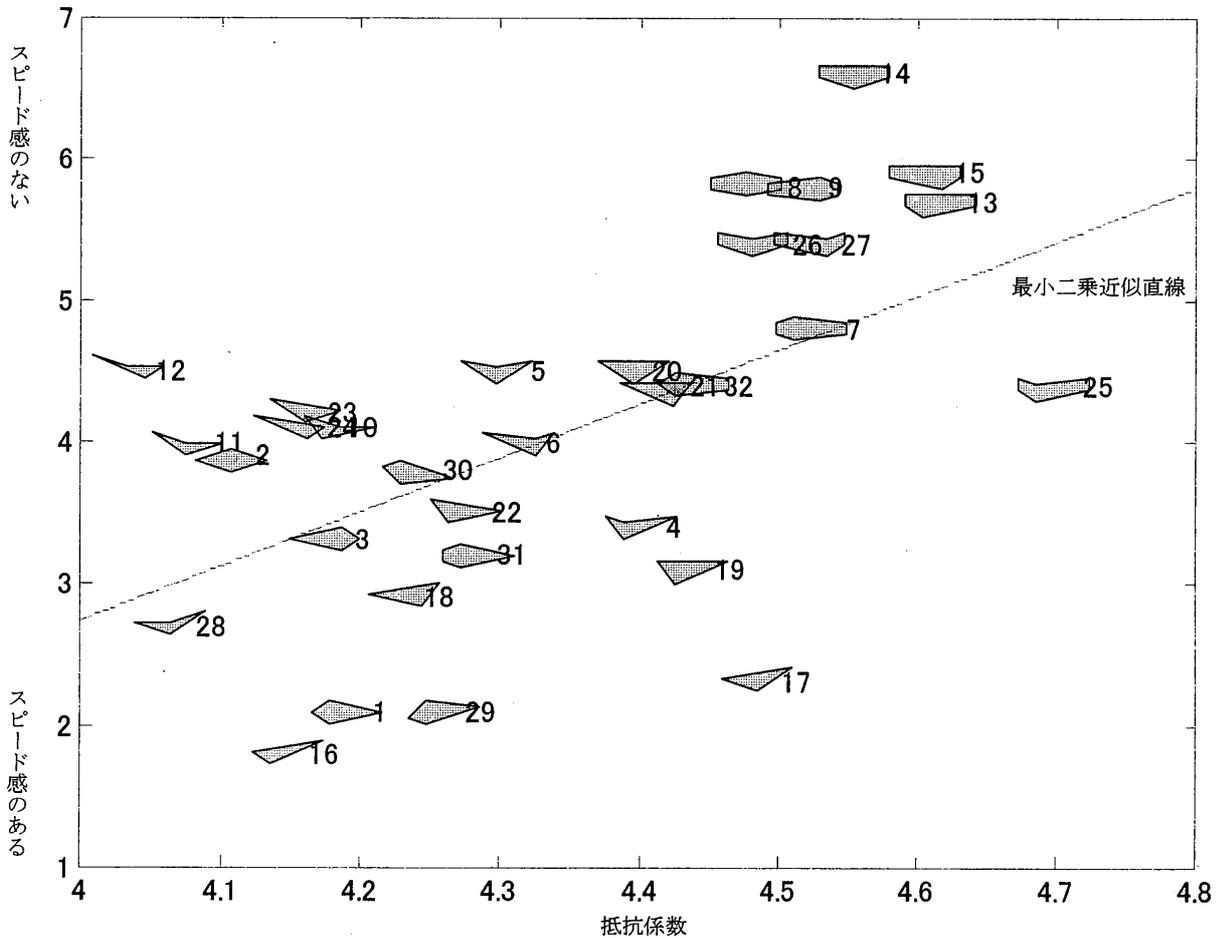


Fig. 11 抵抗係数とスピード感

4.4 数値流体解析

抵抗係数と揚力係数はレイノルズ数により異なる⁶⁾。レイノルズ数 Re は

$$Re = Ud/\nu$$

U : 流速

d : 代表長さ

ν : 動粘度

で定義される無次元数である。モデルが 20°C の空気中を時速 60km で走行した場合、 $U=16.7\text{m/s}$ 、 $d=1.5\text{m}$ 、 $\nu=1.5\times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$ であるから、 $Re=1.67\times 10^6$ となる。レイノルズ数が大きいと、物体周りの流れは乱流になる。本稿では、この条件で信頼できる数値シミュレーションを行なうことが困難であったため、オートバイの走行時の実際の流速とは異なるが、層流になるように、流速を設定する。

円柱周りの流れでは、レイノルズ数が 1 以下では、粘性の影響が大きく、慣性力の影響は小さい。粘性の影響が大きいときは、物体に働く力は、モデルの形状ではなく、モデルの表面積の大きさで決定される。レイノルズ数が 6 以上になると、流れが剥離し始め、形状に差が表れる。

また、感性評価実験ではモデル周りの領域を定義せずに実験を行ったが、数値流体解析ではモデルの周りに有限な領域を設定しなければならない。解析条件を固定するために、層流が十分に発達してからモデルの周りを流れるように解析領域を設定することが望ましい。しかし、層流が発達するまでの長さはレイノルズ数に比例して長くなり⁶⁾、計算時間も増える。以上の理由から、流速を $1.193\times 10^{-5}\text{m/s}(Re=12.25)$ に設定し、解析を行った。

数値流体解析には、FLUENT Inc. の流体解析ソフト FLUENT を使用した。解析領域は Fig.10 に示すような領域を設定した。領域の境界条件は AB, CD を壁境界 (wall), AC を入口速度境界 (velocity Inlet), BD を流出境界 (outflow) に設定した。 $U=1.193\times 10^{-5}\text{m/s}$ 、 $d=1.5\text{m}$ 、 $\nu=1.5\times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$ 、レイノルズ数は $Re=12.25$ である。

4.5 抵抗係数とスピード感

各形状について抵抗係数と感性評価の結果の相関を調べた。感性評価の結果は「非常にスピード感のある」を 1、「非常にスピード感のない」を 7 として 7 段階で評点した。感性評価の結果は、被験者 10 人平均を使用した。結果を Fig.11 に示す。相関係数は 0.57、検定統計量は、3.85 である。有意水準 5% のとき検定統計量が 2.042 より大きければ有意であるから、この結果は有意である。

相関が見られるものの、相関係数 0.57 とあまり高くない。スピード感の評価構造には、抵抗係数以外の因子も含まれていると考えられる。

4.6 モデルの揚力と評価のずれ

スピード感の評価構造を調べるため、モデルの揚力と最小二乗近似直線からのずれの比較を行った (Fig.12)。最小二乗近似直線からのずれとは、あるモデルの抵抗係数での近似直線から予想される感性評価から、実際の感性評価結果を引いた値である。この値が正ならば、抵抗係数から予想される結果より、スピード感を感じ、逆に、この値が負ならば、スピード感を感じないことになる。

以下、この章では、抵抗係数から予想される評価結果よりスピード感を感じる場合「スピード感のある」、スピード感を感じない場合「スピード感のない」と表現する。

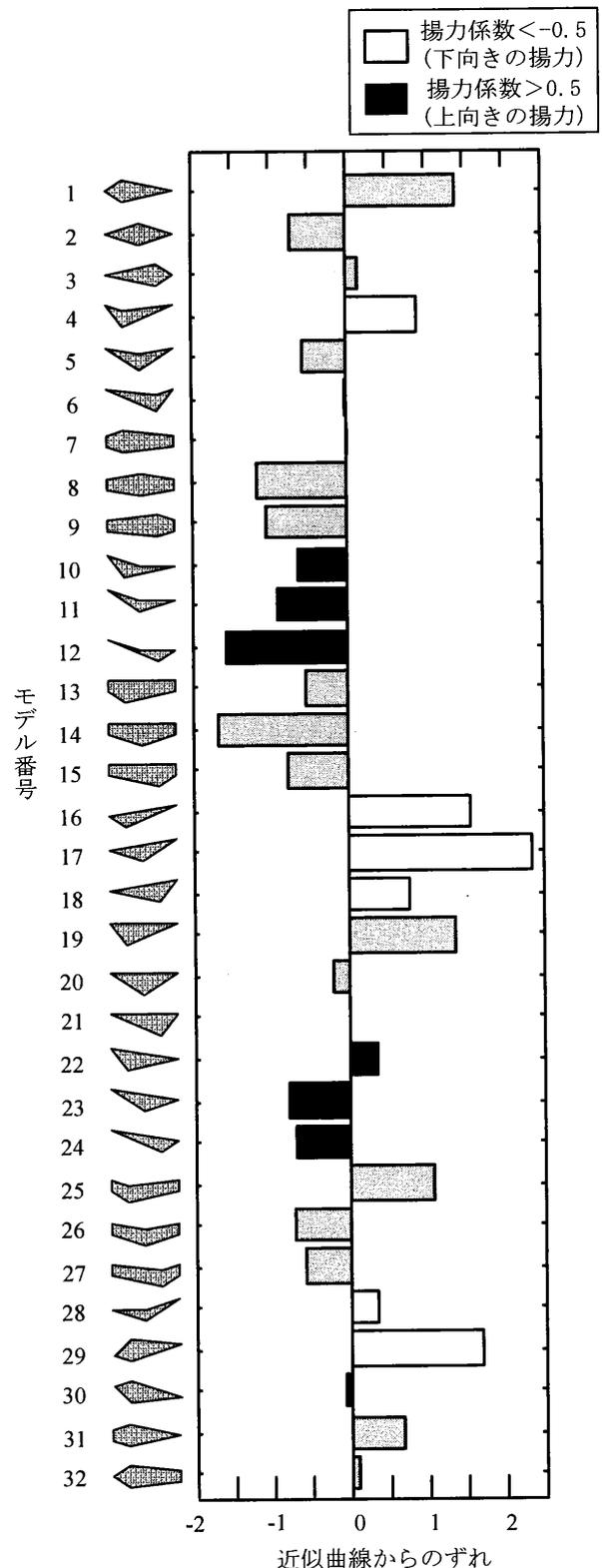


Fig. 12 近似式からのずれ, 揚力, モデルの特徴

揚力の影響を調べるために、揚力係数が-0.5以下のモデル (No.4, 16, 17, 18, 28, 29) と、揚力係数が 0.5 以上のモデル (No.6, 10, 11, 12, 21, 22, 23, 24, 30) を Fig.12 に示すように色分けした。下向きの揚力が働くモデルは、すべて「スピード感のある」と評価していることがわかる。一方で、揚力が上向きに働いているモデルには「スピード感のない」と評価している。

モデル 4 を右上がり形状、モデル 6 を右下がり形状と考えれば、モデル 21 を除き、右上がり形状のモデルと揚力係数が -0.5 以下のモデル、右下がり形状のモデルと揚力係数 0.5 以上のモデルは一致する。そのため、「スピード感のある」と評価している理由が、揚力からなのか、右上がり形状であるからなのかは分離できない。右上がり形状であることが評価の基準になっている場合、過去の経験や知識からスピードのある物体は右上がり形状をしていると判断している可能性がある。そのため、両者は完全に独立ではない。右下がり形状と揚力係数が 0.5 以上の場合も同様である。

4.7 モデルの重心と評価のずれ

また、揚力係数が 0.5 以上であるにもかかわらず、モデル 21 は「スピード感のある」と評価し、揚力があまり働かないモデル 1, 19, 25, 31 は「スピード感のある」、モデル 2, 4, 8, 9, 13, 14, 15, 26, 27 は「スピード感のない」としている。

前端面、もしくは後端面が平らであるモデル (8, 9, 13, 14, 15, 26, 27) に関しては、感性評価の時点であまりスピード感がなく、この影響が大きいと考えられる。

その他のモデルは、重心位置から説明が可能である。「スピード感のある」と評価しているモデル (1, 19, 21, 25, 31) はすべて重心が前方にあり、「スピード感のない」と判断しているモデル (2, 4) は重心がモデルの中央にあり、左右対称である。重心が前方にある場合、前進していく印象を受ける。後方に重心がある場合は、前方が鋭く、空気抵抗が少ない印象を受ける。重心が中央にあり左右対称の場合は、どちらにも当てはまらず、「スピード感のない」と評価される。左右対称のモデルを含む全 Group (1, 2, 3, 5, 7, 9) で、これが当てはまる。この結果から、重心がスピード感の評価に大きな影響を与えると考えられるが、これは今回の実験方法が影響を与えている可能性もある。

実験では、全体的な形状特徴にもとづいてモデルを分類し、分類した Group ごとに感性評価を行わせた。このため、部分的な差異 (重心位置の違い) が容易に把握できるようになる反面、部分的差異が感性評価に与える影響が大きくなる。重心位置のスピード感への影響の度合は、同一実験をモデルの提示方法を変えて行い、結果を比較、検討する必要がある。

4.8 感性評価における個人差

4章6節では被験者 10 人の感性評価結果を平均して、抵抗係数との相関を調べた。これにより、抵抗係数とスピード感にある程度の相関があり、相関しないモデルも、揚力と重心位置を評価因子として付加すれば、評価理由を説明できることを確認した。しかし、すべての人が同一の評価構造で感性評価を行っているとは限らない。人によって、着目している点や、重視している点異なる可能性がある。そのため、個々人で、スピード感と抵抗係数に相関があるかを調べる必要が

ある。個人ごとに相関に違いがあるか調べるために、個人ごとの感性評価結果と抵抗係数の相関を調べた。感性評価が連続量ではないため、相関の計算には、スピアマンの順位相関を用いた。この結果を Table 3 に示す。被験者 1, 3, 9 において相関は見られなかった。

個人によって相関するかしないか大きく異なる。これは、人によって評価構造が異なることを示している。現在、感性評価実験の実施時に取得した評価理由を用いた分析を行っている。

Table 3 被験者ごとの相関係数

被験者番号	1	2	3	4	5
相関係数	-0.09	0.63	0.20	0.57	0.52

被験者番号	6	7	8	9	10
相関係数	0.43	0.55	0.67	0.22	0.61

5. 議論

従来 of SD 法では、分散が大きいデータは、単に個人間でのばらつきが大きいデータとしてしか扱われなかった。しかし、ばらつきが大きくとも、個人での再現性が高ければ、それはその人固有の価値観であるといえる。そのため、Fig.6 のようにばらつきと再現性の 2 軸で評価結果を評価する手法は、個々のユーザの感性を考慮した設計を行うのに有効な方法であるといえる。

4 章では、物理特性、特に流体力学的特性から感性の評価構造の一部の顕在化を試みた。本論文では、感性評価結果を被験者の平均をとって用いたが、評価構造は人それぞれ異なるため、個人による相違についての分析を行う必要がある。また、今回の実験の被験者は全員機械工学系の学生および教員であることから、流体力学の知識を持っていると考えられるが、流体力学の知識の有無が評価構造に影響を与えているかの検討も必要である。今後は、被験者を流体力学の知識を持たない被験者で同様の実験を行う必要がある。

6. まとめ

本稿の結論を以下にまとめる。

(1) SD 法による感性評価結果の再現性の検証を行った。実験の結果、回答の 10% は評価が逆転した回答であることを確認し、ロバストな感性評価法の必要性について考察した。また、形容詞対による再現性の違いから、感性評価の結果を個人によるばらつきと再現性の 2 軸から評価する方法を提案した。

(2) 評価実験において回答の信頼性や再現性を推定できるデータを取得するアプローチによる感性評価のロバスト性向上方法として、回答の確信度を回答記入時の筆圧、回答に要した時間から取得する方法を試み、その実験結果を示した。

(3) 回答の評価構造を顕在化するアプローチによる感性評価のロバスト性の向上方法として、スピード感の評価構造が、抵抗係数、揚力、重心位置の観点から説明しうることを示した。

参考文献

- 1) 中森義輝, 感性データ解析—感性情報処理のためのフuzzy数量分析手法, 森北出版, 2000.
- 2) 長町三生編, 商品開発と感性, 海文堂, 2005.
- 3) ドナルド・A・ノーマン, エモーショナルデザイナー—微笑を誘うモノたちのために, 新曜社, 2004.
- 4) 村上存, 柳澤秀吉, 及川和広, 演習形式による設計手法の教育とその効果, 日本機械学会第15回設計工学・システム部門講演会講演論文集, 2005, pp.200-203.
- 5) 松原礼宗, 寺内文雄, 久保光徳, 青木弘行, 鈴木邁, ものの形から受けるイメージと力学的特性の関係, デザイン学研究, No.45, 1998, pp.30-31.
- 6) 田古里哲夫, 荒川忠一, 流体工学, 東京大学出版会, 1989.