

触に関する知覚・感性・嗜好の個人差： 意味的階層構造からのアプローチ

○岡本 正吾*, 永野 光†, 木戸間 健佑*, 山田 陽滋* (*名古屋大学, † 東北大学)

Individual differences of tactile perception, affect, and preference: An approach from the semantically layered structure *

Shogo Okamoto*, Hikaru Nagano†, Kensuke Kidoma*, and Yoji Yamada*
(*Nagoya University, †Tohoku University)

Abstract: To effectively design tactile textures of product surfaces, it is essential to specify the semantically multilayered and multi-dimensional structure of human perceptual, emotional, and preferential expressions pertaining to touching materials. We implemented a method to identify individual differences in the structure of these expressions, based on subjective reports of the mutual impacts among 29 adjective dyads used to describe tactile experiences of material samples. The results indicate that there are individual differences in the semantic structures of emotional and preferential experiences; however, such differences in psychophysical expressions are relatively minor.

1. 序論

人が物に触れるとき、さまざまな主観的体験を伴う。このような体験は、表面粗さや硬軟のような物理量の知覚から、感性および嗜好までに至る。人工物の表面を設計するとき、このような体験の因果関係を把握することが求められる。特に、個人の嗜好は物に対する人の価値観に直結することから、先に多くの研究が、触れることによって感じられる快適性や心地よさを調査してきた。

Fig. 1 のように、触に対する主観的体験は、意味的にいくつかの層に分類されることがある [1, 2, 3, 4]。最下層は心理物理的階層であり、物理量の知覚に相当する。中間層は感性および認知に関する階層である。ここには、さらに副階層が存在するとされ、複雑性がうかがわれる [1, 3]。最上層は好みに関するものであり、意味的に他の階層よりも上位に位置し、物に対する人の好みは、それに触れることによって生じる知覚および感性に影響を受けることを意味する。

触に対する体験は人によって異なる。例えば、服飾業に従事したり専攻したりする人とそうでない人は、織布を評価するときに異なる語彙を用いる [5, 6]。素材に触れるときに感じられる心地よさの個人差は、個人の指腹の湿気に影響を受ける [7]。このように、主観的体験に個人差があるため、それらの階層構造にも当然、個人差がある。しかしながら、触に関する主観的体験の階層構造の研究は、近年、いくつかの研究グループにより開始されたところであり、個人差の分析にまで至っていない。

本研究は、素材表面の触感を表現する形容詞対の階層構造に関し、その個人差を計算することを目的とする。実験参加者 11 名から、各人の階層構造を Nagano ら [3] の手法を用いて計算し、さらに全員の階層構造を類似性に基づいてクラスタ分析する。このような触に対する主観的体験の

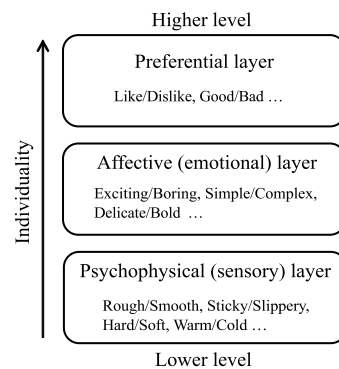


Fig. 1 Semantically layered structures of touch-related adjective dyads. The words in each layer were selected from the literature [1, 2, 3]. The structure of the lower level layer varies less across people, whereas that of the higher layer is more dependent on individual perceptions.

個人差を分析する技術は、さまざまな価値観を有する顧客の嗜好分析などに資する。

2. 方法

実験は、文献 [3] の中で、名古屋大学工学部倫理部会の承認のもと行われたものである。

2.1 参加者

実験の参加者は学内の公募により集められた 11 名の大学生であった。全員から、触覚に関する感覚障害や、手指に傷があるという申告はなかった。

2.2 実験タスク

実験では、通常の官能評価実験でよく行われる、素材に対する採点課題は行わなかった。その代わりに、提示された全素材の触感を受けて、2つの形容詞対の間の因果関係が

*This study was in part supported by MIC SCOPE #0159-0091.

Table 1 The 46 materials used for sensory evaluation

| | | | | |
|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| Magnolia wood | Oak wood | Sapelli wood | Cork board | Fine woven straw |
| Coarse woven straw | Woven linen | Woven rush grass | Soft fake fur | Short hair fake fur |
| Long hair fake fur | Fake boa | Fake cowhide | Fake alligator hide | Fake woven leather |
| Fake suede | Felt | Towel | Satin | Pyramid rubber matting |
| Mirror plate | Iridescent sheet | Aluminum foil cloth | Mosaic tile | Glossy vinyl sheet |
| Glossless vinyl sheet | Cotton cloth | Denim | Fine Japanese paper | Crumped paper |
| Corrugated paper | Wall paper | Artificial grass | Sponge | Perforated aluminum |
| Woven wire mesh | Glass beads (7 mm) | Glass beads (5 mm) | Glass beads (3.5 mm) | Glass beads (1.5 mm) |
| Cotton | Goose feathers | Steel wool | Stainless steel scrubber | Urethane resin |
| Ceramic tile | | | | |

Table 2 29 adjective dyads used to describe subjective experiences

| | |
|---------------------|---------------------------|
| rough-smooth | uneven-flat |
| hard-soft | simple-complex |
| warm-cold | comfortable-uncomfortable |
| sticky-slippery | happy-sad |
| regular-irregular | like-dislike |
| general-special | delicate-bold |
| sharp-dull | strange-usual |
| clean-dirty | beautiful-ugly |
| friendly-unfriendly | clear-vague |
| concrete-abstract | dangerous-safe |
| wet-dry | interesting-uninteresting |
| exciting-boring | rich-poor |
| good-bad | significant-insignificant |
| itchy-not itchy | modern-classic |
| natural-artificial | |

包括的に評価された。

実験参加者は片方の手を用いて自由に、ランダムに配置された46種類の素材に触れた。このとき、素材の表面に触れるのみで、素材を持ち上げないように指示されていた。素材の種類に関する情報は、事前に参加者には知らせられなかった。参加者と素材の間にはカーテンが配置され、参加者からは素材が見えないようにされた。その後、参加者は29種類の形容詞対群の因果関係を採点した。29種から構成される全ての順列(812通り)について、一方の形容詞対が、他方の形容詞対について与える影響の有無とその大きさを、0(影響なし)から5(大いに影響する)までの6段階で採点した。

形容詞対は、Table 2に示す29対であり、先の関連研究で用いられた語の中から選択した。中には、beautiful-uglyのような触覚ではなく視覚情報によって決定されると思われるものがあるが、近年では触れたときに感じられる触覚的美的存在が認められている[8]。

2.3 素材

Table 1に示す46種類の素材を、15×15cmに切り、布や紙などの薄い素材は樹脂板に張り付けて、参加者に提示した。木材、布、紙、合皮、毛皮など、日常生活で触れられる機会の多いさまざまな素材を用意したが、統制の難しさから、野菜や植物のような生ものと、粘着物や油脂物は含まなかった。形容詞対の中には、いくつかの素材に適用できないものがある。例えば、通常、柔らかい金属は想定されないから、硬軟の知覚は金属の評価に影響しない。もっとも、参加者は素材を目視していないため、素材の種類を特定することはなかったはずである。したがって、あ

る素材カテゴリに関する触体験の階層構造を精度よく構築したければ、そのカテゴリに属する素材のみを用いた方がよい。本研究では、一般性を維持するため、さまざまな素材を用いた。

3. 分析

3.1 階層構造の構築

ここでは、文献[3]で導入された、形容詞間の因果関係を構築する手法を簡単に紹介する。一般に、素材ごとの官能評価の結果である相関行列から形容詞間の因果関係を構築することは難しい。この方法[3]は、相関行列ではなく、形容詞間の影響度行列を用いて因果関係を特定する。

参加者 k について、形容詞対 i から j への因果関係の得点を

$$x_{ij}^{(k)}(i, j = 1, 2, \dots, m, i \neq j) \quad (1)$$

とし、参加者の回答に応じて、0から5の整数が代入された。この得点から成る行列 $X^{(k)}$ を正規化し、直接影響度行列 $Z^{(k)}$ を得た:

$$Z^{(k)} = \frac{X^{(k)}}{s} \quad (2)$$

$$s = \max\left(\sum_i x_{ij}^{(k)}, \sum_j x_{ij}^{(k)}\right) (i, j = 1, 2, \dots, m). \quad (3)$$

s は、行列中で最大の行和もしくは列和である。次に、総合影響度行列 $B^{(k)}$ を計算した:

$$B^{(k)} = Z^{(k)} + Z^{(k)2} + Z^{(k)3} + \dots = Z^{(k)}(I - Z^{(k)})^{-1}. \quad (4)$$

ここで、 $Z^{(k)l}$ の要素 $z_{ij}^{(k)}$ は、形容詞対 i が別の $l-1$ 個の形容詞対を介して、間接的に形容詞対 j に与える影響の強さを意味する。したがって、 $B^{(k)}$ は、任意の形容詞対間の直接的及び非直接的な影響を考慮した影響度行列である。

$B^{(k)}$ を基に、形容詞対をノードに、因果関係の有無をアークに、因果関係グラフを描画した。 $B^{(k)}$ の要素 $b_{ij}^{(k)}$ が、ある閾値よりも大きい値であれば、形容詞対 i から j に有効アークを配置した。これは、形容詞対 i が j に影響を与えることを意味する。小さい閾値を用いると、相対的に詳細なグラフ構造が構築され、大きな閾値は単純で視覚的に理解しやすいグラフ構造を生む。あるノードと他のノードの間には複数の冗長パスが存在することがある。ノード間の到達可能性を維持しつつ冗長なアークを除去し、最終的な階層構造を決定した。

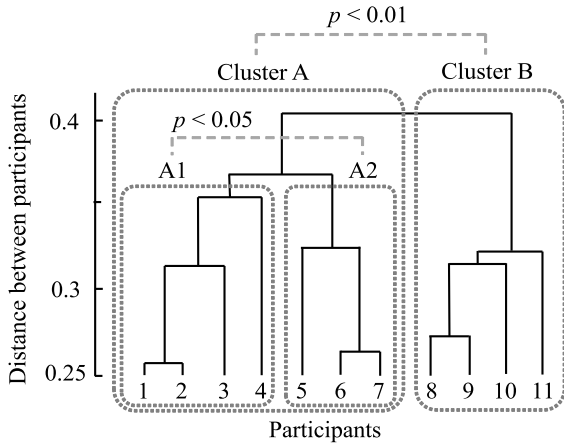


Fig. 2 Participant clusters in terms of similarities of effect matrices.

3.2 階層構造のクラスタ分析

参加者 11 名から得られた階層構造にクラスタ分析を適用し、類似した構造をまとめつつ、逆に異なる構造を明らかにした。これまでに、主観的体験を表す語の意味的階層構造同士の間の本質的な差異が議論されたことはないため、類似性を議論する手掛かりは乏しい。そこでわれわれは、影響度行列間の距離に検定を適用することで、階層構造が有意に異なるかどうかを判断することとした。Ward 法を用いて、11 名の影響度行列 $B^{(k)}$ の類似性を分析した。類似性を判断するための、行列間の距離の指標として

$$\text{dist}(B^{(k)}, B^{(k')}) = \|b^{(k)} - b^{(k')}\| \quad (5)$$

を用いた。ここで、 $b^{(k)}$ は、 $B^{(k)}$ の各要素を列ベクトルとしたものであり、 $b^{(k)} \in R^{841}$ である。

Fig. 2 に、クラスタ分析の結果を示す。統計的に有意なクラスタを決定するために、2 クラスタの差異を下記の方法で検定した。2 つのクラスタ $P = \{b^{(p1)}, b^{(p2)}, \dots, b^{(pr)}\}$ および $Q = \{b^{(q1)}, b^{(q2)}, \dots, b^{(qs)}\}$ があり、それぞれ、 r 人と s 人の参加者が属する。それぞれのクラスタに属する参加者について、クラスタ P の中心からの距離を計算した。距離の集合は、

$$p = \{\|b^{(kp)} - b_p\| : b^{(kp)} \in P\} \quad (6)$$

$$q = \{\|b^{(kq)} - b_q\| : b^{(kq)} \in Q\} \quad (7)$$

とした。クラスタ P の中心ベクトル b_p は、

$$b_p = \frac{\sum_{i=1}^r b^{(pi)}}{r} \quad (8)$$

である。距離集合 p と q を、Welch の t -test で比較し、両集合が有意に異なるかどうかを判断した。その結果、クラスタ A と B ($t_0(9) = 3.67, p < 0.01$) が有意に異なる判断された。また、サブクラスタ A1 と A2 ($t_0(5) = 3.95, p < 0.05$) も、有意に異なることが分かった。クラスタ A と B には、それぞれ、参加者 1-7 と 8-11 が属し、サブクラスタ A1 と A2 には、参加者 1-4 と 5-7 がそれぞれ属した。

4. 結果

3 つのクラスタのそれぞれについて、平均の影響度行列をもとに階層構造を構築した。Figs. 3, 4 および 5 は、それ

ぞれ、クラスタ A1, A2 および B に対応する。アークを設置するための閾値は 0.050 とした。閾値が 0.036-0.050 の範囲では、それぞれの層に属するノードの数に変化せず、これよりも大きい閾値では構造が単純化され過ぎた。

上位層に属する形容詞対 (like-dislike, happy-sad, rich-poor, good-bad) と、下位層に属する形容詞対 (warm-cold, sticky-slippery, wet-dry, uneven-flat, rough-smooth) は、3 つのクラスタで共通していた。上位層の形容詞対は個人の嗜好に関するものであり、下位層の形容詞対は物理量の知覚に関するものである。中間の層は、clear-vague, general-special, simple-complex などの素材の属性に関するものと、comfortable-uncomfortable, interesting-uninteresting, exciting-boring などの感性に関するものである。このように、いずれのクラスタにおいても、下位層から上位層にかけて、物理量の知覚、素材の属性と感性、嗜好に関する形容詞対が配置され、意味的階層構造が安定して構築された。

上位層と下位層に含まれる形容詞対が 3 つのクラスタで著しく類似しているのに対し、中間層の形容詞対はクラスタ間で大きく異なった。クラスタ B の中間層はさらにサブレイヤーを有する一方、クラスタ A の中間層は単一のレイヤーから成る。中間層に含まれる形容詞対の種類という意味では、クラスタ A1 と A2 の違いは小さい。クラスタ A1 では、beautiful-ugly が他の中間層の形容詞対の上に位置しており、クラスタ A2 では、中間層は完全に単一のレイヤーである。クラスタ A1 と A2 の違いの多くは、形容詞対間のアークの配置にある。例えば、クラスタ A1 では、happy-sad は interesting-uninteresting と warm-cold に影響される。クラスタ A2 では、happy-sad は interesting-uninteresting, comfortable-uncomfortable および exciting-boring に直接影響される。また、上位層に含まれる形容詞対はいずれのクラスタでも共通であるが、それらが下位の層から受ける影響はクラスタ間で大きく異なっている。したがって、触に関する主観的体験の個人差は、物理量の知覚よりも、感性と嗜好の層に主として存在することが、本研究によって初めて示された。

同じクラスタに属する参加者の中には、他の参加者よりも距離が離れているように見える参加者がいる。例えば、参加者 5 は参加者 6 と 7 からは離れている (Fig. 2)。しかしながら、これらの参加者らの階層構造の形状的な違いはほとんど見られなかった。

5. 結論

本研究は、主観的体験を表現する形容詞の意味的階層構造を用いて、触感の個人差を分析した。11 名の実験参加者から構築された階層構造はいずれも、物理量の知覚を意味する下位層、素材の属性と感性を意味する中間層、個人の嗜好を意味する上位層に分類された。11 名は統計的に 3 つのクラスタに分類され、その下位層と上位層に含まれる形容詞はクラスタ間で共通していた。一方で、中間層に含まれる形容詞と階層構造はクラスタ間で大きく異なり、この層に大きな個人差があることが示された。

References

- [1] X. Chen, C. J. Barnes, T. H. C. Childs, B. Henson, and F. Shao, "Materials' tactile testing and characterisation for

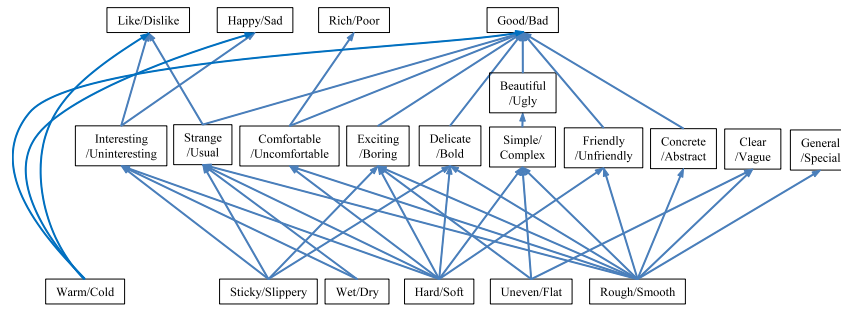


Fig. 3 Effect graph built from group A1. This is nearly three layered except for the beautiful-ugly dyad.

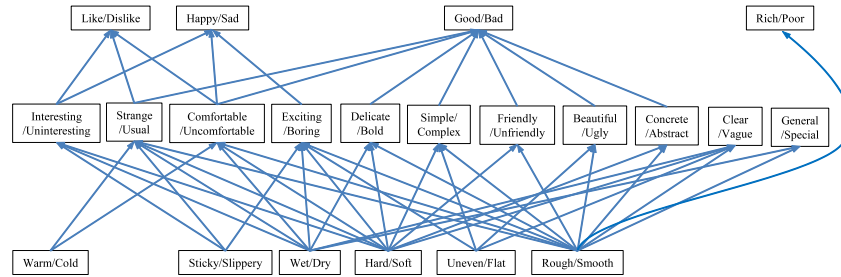


Fig. 4 Effect graph built from group A2. This has a three-layered structure. The rich-poor node cannot be judged in relation to whether it belongs to the middle or top layer.

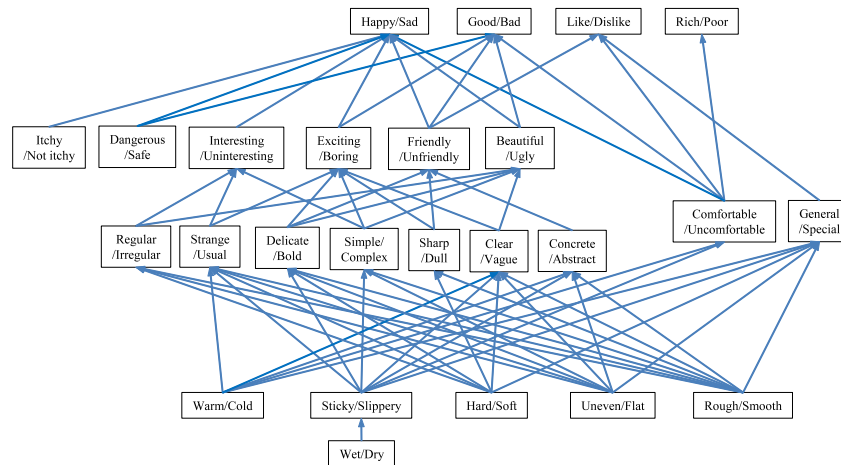


Fig. 5 Effect graph built from group B. This has a four-layered structure with a complicated middle layer. The dangerous-safe and itchy-not itchy nodes were not strongly influenced by the bottom, psychophysical layer.

consumer products’ affective packaging design,” *Materials and Design*, vol. 30, pp. 4299–4310, 2009.

[2] S. Guest, J. M. Dessirier, A. Mehrabian, F. McGlone, G. Essick, G. Gescheider, A. Fontana, R. Xiong, R. Ackertley, and K. Blot, “The development and validation of sensory and emotional scales of touch perception,” *Attention, Perception & Psychophysics*, vol. 73, pp. 531–550, 2011.

[3] H. Nagano, S. Okamoto, and Y. Yamada, “Semantically layered structure of tactile textures,” *Haptics: Neuroscience, Devices, Modeling, and Applications, Part I, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 8618, pp. 3–9, 2014.

[4] R. Ackertley, K. Saar, F. McGlone, and H. B. Wasling, “Quantifying the sensory and emotional perception of touch: differences between glabrous and hairy skin,” *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, vol. 8, no. 34, 2014.

[5] I. Soufflet, M. Calonnier, and C. Dacremont, “A compar-

ison between industrial experts’ and novices’ haptic perceptual organization: a tool to identify descriptors of the handle of fabrics,” *Food Quality and Preference*, vol. 15, pp. 689–699, 2004.

[6] T. Ishikawa, S. Nakamori, K. Sasaki, K. Miyatake, and M. Ayama, “Investigation of appearance and tactile sensation scales for evaluating clothes in online shopping,” *Proceedings of the International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research*, pp. 537–543, 2014.

[7] A. Klöcker, C. Arnould, M. Penta, and J.-L. Thonnard, “Rasch-built measure of pleasant touch through active fingertip explorations,” *Frontiers in Neurobotics*, vol. 6, no. 5, 2012.

[8] C.-C. Carbon and M. Jakesch, “A model for haptic aesthetic processing and its implications for design,” *Proceedings of IEEE*, vol. 101, no. 9, pp. 2123–2133, 2012.