

仮想物体の色彩刺激が実物体の硬軟感に与える影響の分析

馬 寧^{†2} 杜若 大樹^{†2} 山田 泰己^{†2} 柴田 史久^{†1} 木村 朝子^{†1}

立命館大学 情報理工学部^{†1} 同 大学院情報理工学研究科^{†2}

1. はじめに

人工現実 (Virtual Reality; VR) 空間における没入感を高めるために五感に関する様々な研究が行われているが、視覚刺激と比べ、触覚刺激を提示するためにはなんらかのデバイスを装着する必要がある。また、表現できる触感もデバイスごとで限定される場合が多い。それに対して、我々は視覚刺激を与えることで触覚に影響を与えることができないかと考えた。山川ら[1]は、ディスプレイ上に立方体を表示し、力覚提示装置 PHANTOM Omni を用いて弾性係数を変えながら触れさせた際に、色相 (H)、明度 (V)、彩度 (S) が触覚に与える影響について確認した。同論文では、PHANTOM Omni を用いて触覚を表現していたが、指への直接的な触感刺激の有無によっても触錯覚の誘発への影響があると考えられる。そこで、本稿では実世界にある実物体を直接指で押下すると、VR 空間にある仮想物体が変形する (凹む) 場合に、仮想物体の明度と彩度、色相が硬軟感へ与える影響について分析する。

2. 実験 1: 明度が硬さ知覚に与える影響

2.1. 実験目的

実験 1 では、彩度と色相は同じで、明度のみ異なる仮想物体を提示した場合に、明度が硬さ知覚に与える影響を分析する。

2.2. システム構成

図 1 にシステム構成を示す。VR 映像の提示には Oculus Rift を用いた。VR 空間では、仮想の手と押下される仮想物体を表示し、被験者が実物体を押し込む力に応じて仮想の手が動き仮想物体も変形する。この実物体を押下する力を計測するために、実物体の下に圧力センサを取り付けている。圧力センサの値は Arduino Uno を用いて取得し、仮想物体の形状変化に利用する各機器の通信制御や仮想物体の描画に関しては、ゲームエンジンである Unity を用いた。また、被験者が実物体を押下する力の強さを把握できるように、実物体の下に重量計を設置した。また、これらは本論文の全ての実験において共通である。

2.3. 実験条件

実験では、被験者は腰を垂直にして椅子に座り、体は机から 10cm 離して、頭に HMD を被る。既存研究を参考に[2][3]、仮想物体を押下する際は、10N の力で人差し指が寝かせたまま実物体から指を離すこと無く 5 回押すこととした。実験対象物としては硬さが 5 度 (JIS K6253 標準)、厚さと直径が 20mm のシリコンゴムを用いた。実物体を押下する際、VR 空間上では仮想物体が 3 段階に変化する。

仮想物体の色は HSV 色空間で定義し、色相と彩度が H=S=0、明度 V=100, 50, 0 の 3 段階 (図 2 (a)) とした。被験者は、20~24 歳の 10 名である。

2.4. 実験手順・評価方法

実験は以下の手順で実施した。

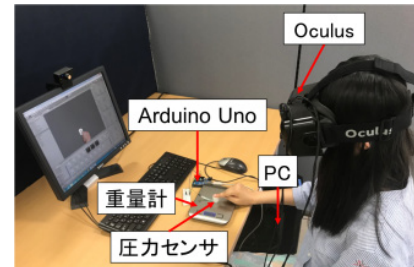


図 1 システム構成

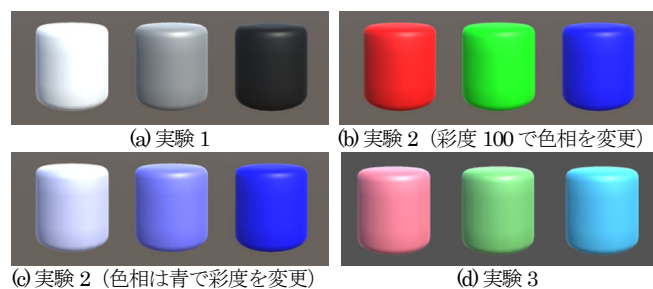


図 2 実験で使った仮想物体

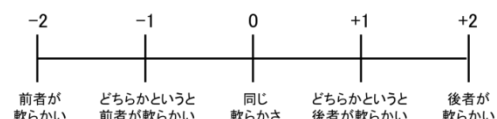


図 3 評価方法

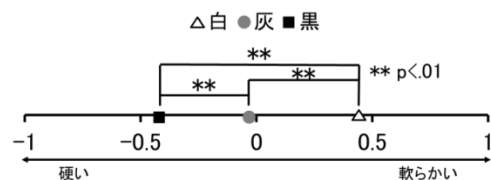


図 4 実験 1 の結果

- (1) シリコンゴムを押下する力 (10N) を確認させる
- (2) HMD を頭に装着させる
- (3) 3 種類の色の仮想物体からランダムに 2 つ選択する
- (4) 1 つ目の仮想物体を提示し、10N の力で 5 回押させる
- (5) 2 つ目の仮想物体を提示し、10N の力で 5 回押させる
- (6) どちらがより軟らかく感じたか 5 段階で回答させる (図 3)
- (7) 残りの組み合わせについて (3)~(6) を繰り返す

評価にはシェッフェの一対比較法 (任意の二つの対象を取り出し、1 対 1 で比較・評価する方法) を採用した。

2.5. 実験結果・考察

実験結果を図 4 に示す。図より、白色、灰色、黒色の順に柔らかく知覚しており、明度が高い方が柔らかく感じる傾向を確認できる。心理学分野[4]でも、色の硬軟感は主として明度が関係しており、明るい色は柔らかく、暗い色は硬く感じるということが知られており、今回の結果はこの知見と同様の傾向であることが分かる。

[†]Influence of Virtual Object Color Stimulation on Hardness of Real Object

^{†1} College of Information Sci. and Eng., Ritsumeikan University

^{†2} Graduate School of Information Sci. and Eng., Ritsumeikan University

3. 実験2：色相と彩度が硬さ知覚に与える影響

3.1. 実験目的

実験2では明度を固定し、色相を赤色、緑色、青色の3色、彩度も3種類提示することで、仮想物体の色相と彩度が硬さ知覚に与える影響を分析する。

3.2. 実験条件・手順

実験2では明度を $V=0$ に固定し、彩度 $S=20, 60, 100$ の3種類、色相 $H=0$ (赤), 120 (緑), 240 (青) の3種類、色相3種×彩度3種類の計9パターンで実験を行った。提示する色の一例として、彩度を $S=100$ 、色相を $H=0, 120, 240$ とした場合を図2(b)に、色相を $H=240$ (青) として彩度を $S=20, 60, 100$ とした場合を図2(c)に示す。その他の実験条件と手順は実験1と同様である。被験者は、20～24歳の10名である。

3.3. 実験結果・考察

色相が $H=240$ (青), 120 (緑) で、彩度が $S=20, 60, 100$ の場合の結果を図5、図6に示す。赤色と青色の結果はほぼ同様で、低彩度の色ほど柔らかく感じることが確認された。一方、緑色では、彩度 $S=20$ と $S=100$ の間のみに有意差を確認し、赤色、青色ほどの差は見られなかった。

この理由として、彩度が異なる3色の緑色は、心理物理量としての明るさの差が小さかった可能性が考えられる。人間は明度が同じでも彩度と色相によって知覚する明るさが異なる。さらに、人間の目は、色差よりも物体の輝度の変化に敏感であると言われている。このことから明度ではなく人間が知覚する明るさによって知覚する柔らかさが変わった可能性も考えられる。これを確認するために明るさの情報により多くの情報を割り当てたYUV色空間のY(輝度)を導入する。Yは、HSV色空間で定義する色をRGB色空間に変換したうえで、以下の式によりを求めることができる。

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

それぞれの条件でのYの値を求めた結果、緑色は赤色と青色に比べ、彩度間の輝度の差が小さいことが確認できた。また、緑色の彩度 $S=20$ と $S=100$ における輝度の差は約100であり、これは赤色と青色の彩度 $S=20$ と $S=60$, $S=60$ と $S=100$ の場合の輝度の差と同程度だった。

また、彩度が $S=100$ 、色相が $H=0$ (赤), $H=120$ (緑), $H=240$ (青) の場合を比べると、緑色、赤色、青色の順に柔らかく知覚するという結果になった(図7)。心理学では、赤色のような暖色は柔らかく、青色のような寒色は硬く感じる傾向があることが分かっており、それに即した結果とも考えられるが、輝度を比べると緑色 ($Y=150$)、赤色 ($Y=76$)、青色 ($Y=29$) の順番で値が大きくなり、この順番で柔らかく知覚するのは、輝度の影響であるとも考えられる。

4. 実験3：輝度が硬さ知覚に与える影響

4.1. 実験目的

そこで実験3では、輝度を一定にした場合に硬さ知覚にどのような影響があるか確認することを目的とする。

4.2. 実験条件・手順

実験条件と手順は実験1と同様であるが、提示する色条件として、赤色、緑色、青色の中でも輝度が近い色(赤： $H=350, S=56, V=100, Y=156$, 青： $H=197, S=78, V=95, Y=154$, 緑： $H=115, S=51, V=76, Y=157$)を選択した(図2(d))。被験者は、20～24歳の10名である。

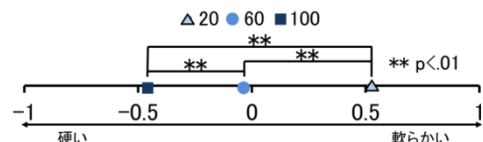


図5 実験2の結果：H=240 (青), S=20, 60, 100 の場合

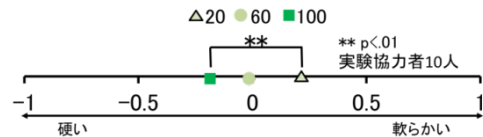


図6 実験2の結果：H=120 (緑), S=20, 60, 100 の場合

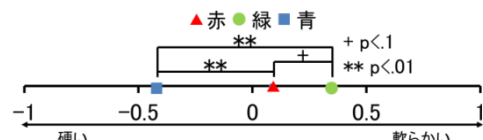


図7 実験2の結果：S=100, H=0 (赤), 120 (緑), 240 (青) の場合

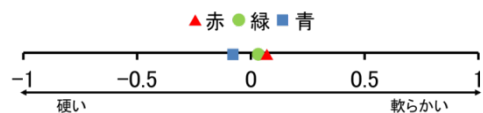


図8 実験3の結果

4.3. 実験結果・考察

実験結果を図8に示す。柔らかさの順番は、赤色、緑色、青色となったが、条件間で有意差は見られなかった。このことから、実験2で得た結果は、色相の影響ではなく、輝度の影響と考えられる。すなわち、彩度が同じ場合に青色よりも赤色の場合の方がやわらかく感じるのは、赤色のような暖色は柔らかく、青色のような寒色は硬く感じるからというよりは、同じ彩度では人は赤色の方を明るく、青色の方が暗く感じるからであると考えられる。以上のことから、硬軟感に大きく影響するのは輝度であり、輝度が高いほど柔らかく知覚する傾向が示唆された。

5. むすび

本稿では、物体の明度、彩度、色相を変更することで知覚する硬軟感にどのような影響があるのかについて実験を行った。既存研究から明度が高いほど柔らかく知覚すると考えていたが、彩度と色相の実験から、明度によって知覚する硬軟感に差が出るのではなく、輝度によって差が出るのではないかという結論に至った。

参考文献

- [1] 山川聡子, 松家伸一: “物体の色が硬さの知覚におよぼす影響”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 3, pp. 355 - 361, 2011.
- [2] 田中瑞穂, 梅沢侑美, 土井幸輝, 藤本浩志: “弾性物体を押し込む指と硬さ弁別特性の関係”, 日本機械学会論文集, Vol. 82, No. 838, p. 16 - 00001, 2016.
- [3] 坂口歳斗, 土井幸輝, 藤本浩志: “押し込む指の姿勢が硬さ弁別特性に及ぼす影響”, 日本機械学会論文集, Vol. 83, No. 851, p. 17 - 00059, 2017.
- [4] 加藤雪枝, 石原久代, 中川早苗, 橋本令子, 寺田純子, 雨宮勇, 高木節子, 大野庸子. “第七章 色の心理的効果”, 新版生活の色彩学, 朝倉書店, pp. 79-88, 2001