



色彩効果を用いた疑似温度感覚に関する基礎実験

丸田 千滉¹⁾, 橋口 哲志¹⁾

Chihiro MARUTA, and Satoshi HASHIGUCHI

1)龍谷大学大学院 理工学研究科 (〒520-2194 滋賀県大津市瀬田大江町横谷 1-5)

概要: VR や AR 等を用いた仮想体験時には疑似触覚と呼ばれる複数の感覚モダリティが相互作用し錯覚が生じる場合がある。疑似触覚は主に視覚情報が他の感覚モダリティに影響すると考えられ、重量感や抵抗感等の錯覚が生じる。しかし、温度感の疑似触覚は未だ手法が確立されておらず、不明瞭な部分が多い。そこで本研究では温度感覚に影響を与え得る色彩効果を用いて、温度感を伴う疑似触覚の生起を試み、分析する。

キーワード: 疑似触覚, 色彩効果, クロスモーダル, 温度感覚

1. はじめに

VR や AR 等の様々な仮想体験技術が発展・普及し続けており、様々な場で仮想体験を楽しむことができるようになった。スマートフォンを媒体とするもの、専用デバイスを媒体とするもの等多種多様な技術により様々な仮想体験を楽しむことができる。このような仮想体験時には疑似触覚と呼ばれる錯覚が度々生じる。疑似触覚とは複数の感覚モダリティが相互作用することによって得られる錯覚のことであり、疑似触覚は主に視覚情報が作用すると考えられている[1]。疑似触覚の例を挙げると、マウスカーソルの速度を通常より遅い速度で動くように緩急を設定すると、マウスの重さに変化を加えていないのにも関わらずマウスが重く感じるといった例である[2]。Ujitoko ら[3]は、2000 年から 2020 年までの疑似触覚に関する調査論文を 2021 年に発表した。この論文では重量感や摩擦感といった疑似触覚の種類に関して調査を行い、温度感のある疑似触覚に関する研究が不足しているという知見が述べられている。

そこで我々は疑似温度感覚に着目することにした。温度感覚は曖昧な感覚であり、他の触感のみならず他の感覚からも影響を受けることが知られている。その中でも顕著な例として色彩効果がある。人間は色を捉えることで心理変化が生じる色彩効果が有効で、様々な場で利用されている。例えば、自動販売機のボタンでは温かい飲み物に橙色を、冷たい飲み物に青色を点灯させる。このような例から色は潜在的に温度感をイメージさせると考えられる。また、何所覧[4]は触れる物体の色や手の色を変更して、実際に手で触れる物体の温度感覚を操作できる事を示した。これらの例からもわかるように色彩は実際の温度感覚に影響を与えており、疑似的な温度感覚にも影響を与える可能性がある。

そこで我々は仮想物体に色を加えることで生起する疑似触覚に温度感を加えようと試みた。疑似触覚と同様の目による心理錯覚の色彩効果と組み合わせて温度感を伴う疑似触覚の生起を試み、分析をする。

2. 実験環境

本実験の実行環境を図 1 に示す。実験にはヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display; HMD) はビデオシースルー型 (VIVE Pro, HTC) を使用し、Unity を用いて仮想環境を構築した。他にもベースステーション 2.0 や VIVE トラッカー 3.0 を用いて、HMD には現実空間に VIVE トラッカーに紐付けた仮想物体を重畳表示した映像を映した。さらに HMD が捉える現実空間範囲に黒幕を張った。また被験者には利き手で実験に参加してもらい、長袖の服を着ている際は、服を捲って実験を行った。

3. 予備実験

3.1 SD 法による色彩の温度印象評価

色彩効果は人間が有している本能的な偏見、わかりやすくいうと色に対するイメージが色彩効果の起因と考えられている。色彩効果が発生するメカニズムは未だ不明瞭な部分も多く完全に解き明かされていないが、他の要素として光の色や強さ、また色がついている物体自身に対するイメージなども色彩効果には関係すると考えられている[5]。従って、今回の実験でも被験者が有する赤、青、緑の 3 色について、温度に関する印象を確認した。

実験では被験者 10 名に SD 法による色の評価を行った。被験者は全員 20 代前半、石原式色覚異常検査表において調査を行い色覚異常が見られなかった者である。実験上で仮想物体に使用する色は RGB カラーコードで指定した細かな 3 色であるが SD 法について質問した色は大まかな

赤, 緑, 青についてである. SD 法は数直線上の対に相反する形容詞を置き, 7段階に評価を分けて自分自身のイメージに適するところに丸を付けてもらった. 形容詞は評価, 力量, 活動性の3種類の種類に分別される. またSD法アンケートには, 実験に関連する形容詞ばかりでは純粋な被験者自身の感性を捉えられないと考え, ダミーの質問を13個, 本当の質問を7問加えた20問でアンケートを行った. 集計は10名の結果の平均を取り, 3色のイメージの比較した.

図2にSD法による印象評価の結果を示す. 「熱い冷たい」の項目, 「暖かい寒い」の項目について着目し, 温度感を鑑みると温度感のイメージは高い方から赤, 緑, 青の順で並んでいることがわかる. 各色の差は約1の差がついており, はっきりとしたイメージの違いがあると考えられる. また, 赤や青はどちらかに評価が寄っているが, 緑はほぼ0であり常温に近い温度感のイメージを持っていると見られる.

3.2 疑似温度感覚における予備実験

何所寛[4]が行った実験を参考に, 立方体の仮想物体に赤・青・緑に着色をした物を用意し, 仮想物体に対する疑似触覚と色彩効果が与える疑似温度感覚の温度への影響を評価した.

まずこの実験では図1の実験環境を用いて, 仮想物体からは何も出てこない状態で物体自身の色による影響を確認した. 仮想物体を出現させ, 変化前の色として実験内の赤, 緑, 青として称するRGBカラーコード(255, 0, 0), (0, 255, 0), (0, 0, 255)これらの内どれか1色を着色する. (以下この色を第1色と称する)第1色を着色した後, 物体の中に手を入れて風が起きない程度にゆっくりと手を開いたり閉じたり, 手を揺らしたりして仮想物体の感触や温度感を調べてもらった. 温度感覚に関しては Scheffe の一対比較法・浦の変法を用いて各色彩に温度感覚の差異が生じるのかを確認し, 疑似触感に関しては触覚生起の有無を回答してもらった. 被験者は10名で男女比8:2である. この結果, 疑似温度感覚を Scheffe-浦の変法で検定すると立方体の色が「赤・緑」「赤・青」の時, 温度差の有意差が見られた(図3). また, 手を仮想物体に入れて行った所, 疑似触覚を得られた割合は3色の平均で47.5%であった.

次にこの結果を基に立方体の仮想物体の上部から現実感・温度感のある仮想物体を生じさせ, 温度感のイメージをさらに強く持つように工夫をした. この仮想物体に対して, 疑似触覚及び色彩効果が及ぼす疑似温度感覚の温度差への評価実験を行った. ここで述べた「現実感・温度感の伴う仮想物体」はUnityのパーティクルシステムとテクスチャを用いて煙を模した仮想物体を実装した. ここでも同様に疑似温度感覚・疑似触感に関して確認した. 被験者は10名で男女比8:2である. この実験の結果, 疑似温度感覚の温度差は Scheffe-浦の変法で検定したところ箱の色が「赤・青」「赤・緑」「緑・青」の全ての組み合わせで有意



図1 実験環境

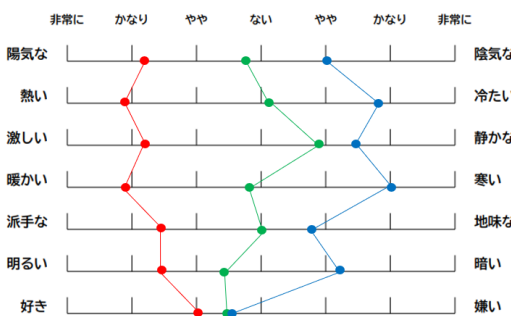


図2 SDによる色彩の温度印象評価

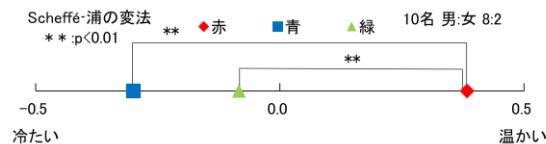


図3 仮想物体の色に対する温度感の心理尺度

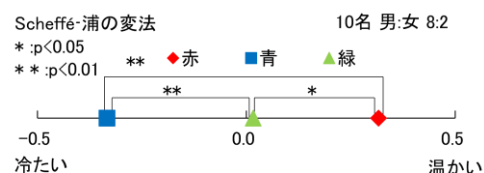


図4 仮想物体からパーティクルを付与した場合の温度感の心理尺度

差が見られた. また, 煙のような仮想物体に対する疑似触覚が箱の色が3色を平均して62.5%であった. これらの結果を踏まえて, 疑似触覚の生起率と疑似温度感覚の温度差は共に現実味を持った仮想物体に対して強く影響すると考え, 本実験として立方体の仮想物体の上部から出現する仮想物体を新たに実装し, 疑似触覚や疑似温度感覚を提示するに適した仮想物体を探る実験を行った.

4. 本実験

4.1 使用した仮想物体

この実験では、疑似触覚と疑似温度感覚の生起にはどういった要素が強く起因するかを分析した。赤・青・緑色に変化する立方体の仮想物体とその仮想物体の上部から発生する「温度感の伴い得る仮想物体」を3種類、合計9つの事象を用意した(図5)。煙は現実感と物体の動きを、光線は非現実感と物体のわずかな動きを、周辺光は現実感と物体の動きがないものとして取り入れた。この仮想物体は予備実験と同じ様に VIVE トラッカーに紐付けて HMD に流れる現実空間の映像に重畳表示した。

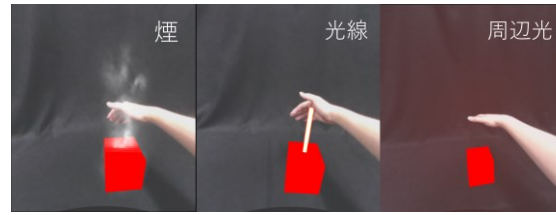


図5 温度感の伴い得る仮想物体

4.2 実験内容

合計9種類の事象を実験に用いた。図5の仮想物体は左から湯気、光線、周辺光を模して作成した。立方体の色と温度事象の全ての組み合わせの合計9つをランダムで提示していき、各事象についてVAS法で被験者に評価してもらった。VAS法では提示した仮想物体に対して「感触」、「温かさ」、「冷たさ」の3つを評価してもらった。「感触」に関しては左端を「何も触れていない」右端を「実際の物体に触れている」、「温かさ」では左端を「室温」、右端を「沸騰したお湯」、「冷たさ」では左端を「室温」、右端を「氷」として評価基準を設けた。被験者は10名で男女比7:3である。1人の被験者に対して合計3回実験を行った為、実験回数は30回となっている。

4.3 実験結果

VAS法で得られた各事象における「感触」、「温かさ」、「冷たさ」をTukey-Kramer法で検定し、作成した図を図6から図8に示す。グラフ内の軸上部の色は立方体の箱の色を示し、軸下部の色が白は煙、黄は光線、紫は周辺光を示す。凡例の1文字目が立方体の色を示しRed, Blue, Greenの頭文字を取っている。2文字目は立方体上部から発生させた仮想物体を示しSteam, Beam, Lightの頭文字を取っている。またグラフ内の記号は** : p < 0.01, * : p < 0.05, + : p < 0.1を示す。

図6を見るとRS, BS, GSの疑似触覚の数値が高いことがわかる。このことから本実験で用いた煙を模した仮想物体のような現実感・物体の動きを伴う仮想物体を用いることで疑似触覚が感じやすくなる可能性を示唆された。逆に現実感はあるが動きのない周辺光を模した仮想物体や動きはあるが非現実性のある光線を模した仮想物体を用いても疑似触覚が然程得られなかった。このことから現実感と動きを伴う仮想物体と一方が欠如している仮想物体との組み合わせでは疑似触覚に有意差が見られることも分かった。

次に図7に注目すると立方体の色が赤色の時、平均して温かさが生起することが分かった。しかし例外的にGBでも立方体の色が赤色の時と同じくらいの数値が得られていることがわかる。しかし温かさの差に有意差が見られたのはRSとRB, RSとGB以外のRSを一方に用いた組み合わせのみで、他の組み合わせでは有意差が見られなかつ

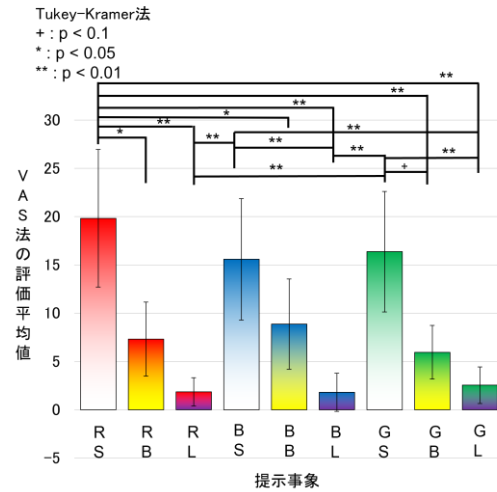


図6 各事象に対する感触

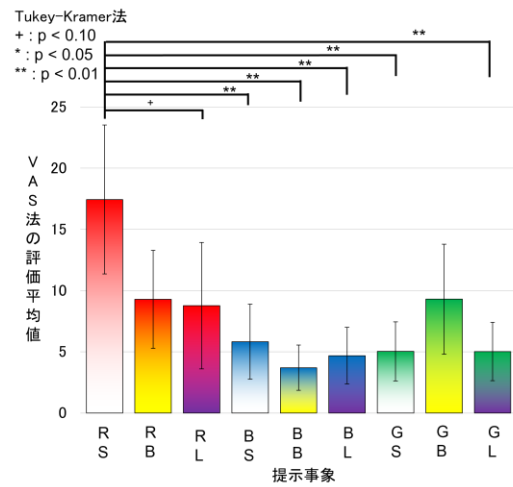


図7 各事象に対する温かさ

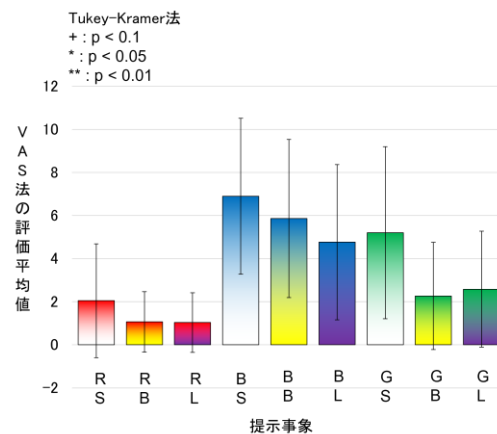


図8 各事象に対する冷たさ

た。しかし縦軸に注目してみると、他の事象でもわずかながらに温かさの数値が見られ被験者らが温かさを感じたということが分かる。従って、仮想物体によって温かさの疑似温度感覚を生起させられる可能性と温かさの疑似温度感覚の差が表現できる可能性が示唆された。

最後に図 8 の冷たさに注目すると、立方体の色が青色の時と GS の時に縦軸の値が他の事象と比べて僅かに高いことがわかる。これらから寒色系の色を用いることで仮想物体に対する冷たさの疑似温度感覚が生起する可能性が高い事が分かる。しかし、縦軸に注目してみると非常に数値が小さいことが分かる。冷たさの疑似温度感覚はどの組み合わせでも冷たさの差に有意差は見られず、今回用いた仮想物体では冷たさの生起、冷たさの疑似温度感覚の差を表現することは難しいことが分かった。

5. 考察

今回の実験の結果から、煙を模した仮想物体を用いることで他の仮想物体より疑似触覚が生起しやすいことがわかった。実験時にはこの仮想物体に対して「現実感がある仮想物体は比較的感じやすい」、「手の平に下から湯気のようなものが当たっている感覚を得た」、「仮想物体が当たる面積が広いと感じやすい」といったコメントが得られた。これは煙を模した仮想物体が下から上へと昇っていく動きや他の事象と比べて経験による馴染みがある物体であったことが起因していると考えられる。また、手を翳した時に手の平に当たる面積が多いと手の平で感じやすいといった点については、視覚のみではあるが刺激範囲が広い為感じやすくなったと考えられる。しかし刺激範囲が広いのにも拘らず周辺光の感触の数値が少ないのは、そもそも光に対する感触を得た経験がないことや、光から感触を得るイメージがないこと、さらに仮想物体の動きがない為と考えられる。光線を模した仮想物体は実験時に「光線の先が当たる手の平の一点に感触や温度感を感じる」といったコメントを得られた。そのため、疑似触覚を得るには仮想物体に動きが伴う事が重要な要素であることを示唆された。この光線を模した仮想物体を用いた際に疑似触覚が得られた要因は、仮想物体自身の動きがあることや、光線を模した仮想物体をレーザーとして捉えられ、この仮想物体が照射している手の平の 1 点に接触している様に見えた為だと考えられる。

仮想物体の疑似温度感覚は温かさの方が幅広く知覚された。実験時には「これら 3 つの仮想物体に冷たいイメージはあまりない」といったコメントを得られた事と併せ考えると 3 つ全ての仮想物体が温かいイメージを持つ仮想物体だった為このような結果になったと考えられる。図 8 より冷たさの平均値が小さいことから温かいイメージを持つ仮想物体は色彩効果を用いて温かいイメージを冷たいイメージへ変化させることは難しいことが分かった。逆に温かいイメージは色彩効果によって温かさを操作できる可能性が有り、有意差を表せることがわかった。しかし有意差が見られた組み合わせに注目すると、色彩効果によ

る温かさの疑似温度感覚の有意差は仮想物体に対する現実感やイメージに加えて仮想物体の動きによって疑似温度感覚が生起すると考えられる。

6. むすび

本実験では、色彩効果と仮想物体を組み合わせることで疑似触覚と疑似温度感覚の生起、さらに疑似温度感覚の差の生起を試みた。結果として仮想物体に対する経験と現実感と動きが疑似触覚や疑似温度感覚の生起に重要な要素と分かった。さらに人間が持つ経験やイメージによって仮想物体に対する疑似温度感覚を生起し得ることが示唆された。この疑似温度感覚は仮想物体のイメージに反するものでなければ色彩効果によって温かさの操作や温度差の表現が可能という結果を得られた。しかし温かさの温度差の表現は仮想物体の経験やイメージによる現実感が必要不可欠な要素であり、これが欠けている仮想物体では温かさの温度差の表現が難しいことが分かった。又温かいイメージを持つ仮想物体に色彩効果を用いても冷たい疑似温度感覚を生起させる事は難しいという結果が得られた。

今後の展望として、これらの実験結果は幅広い年齢層で有効な提示手法なのかを判断するために被験者の年齢層を拡大し同様の実験を実施する。又さらなる確かな温かさの疑似温度感覚を提示可能を確認するために、温かいイメージを持つ仮想物体そのものに着色することで更なる疑似温度感覚の生起、また温度差の表現を試みる。冷たさの疑似温度感覚については多くの人々が冷たいイメージを持っていると考えられる氷や雪、水といった現実の冷たい温度感のイメージを持つ物体を模した仮想物体を用いることで疑似温度感覚が生起させられないか検証を進めていく。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 21K11947 の助成による。

参考文献

- [1] 阿部 慶賀：“視覚を通じた疑似触覚体験による触覚プライミング効果”，認知科学第 27 巻 1 号，pp.63 - 68，2020.
- [2] Regan L. Mandryk, Malcom E. Rodgers, and Kori M. Inkpen: “Sticky Widgets: Pseudo-haptic Widget Enhancements for Multi-Monitor Displays,” CHI'05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp. 1621 - 1624, 2005.
- [3] Yusuke Ujitoko, and Yuki Ban: “Survey of Pseudo-haptics: Haptic Feedback Design and Application Proposals,” IEEE Transactions on Haptics, pp. 699 - 711, 2021.
- [4] 何昕霓：“物体の温度知覚に色情報が与える影響”，日本バーチャルリアリティ学会大会論文集，33A-2，2015.
- [5] 大山 正：“色彩の心理的效果”，照明学会雑誌 46 巻 9 号，pp.452 - 458，1962.