

温度錯覚を用いた VR コンテンツの検討

橋口 哲志^{†1} 高尾 篤史^{†1} 中村 悠大^{†1} 三津川 貴登^{†1} 南 沙弥花^{†1}

概要：温度感覚は干渉されやすく、空間分解能が低い特徴がある。それ故、他の皮膚感覚に比べて、Thermal Grill Illusion (TGI) や Thermal Referral (TR) といった錯覚現象が多く発見されている。これらの錯覚は温冷覚提示の困難させる原因となる場合もあるが、TGI は安全な温度で灼熱のような温度まで提示や、TR は他の接触している物体に温度を感じさせることも可能である。そこで、本研究ではこれら温度錯覚の特徴を足湯の VR コンテンツに活用するため、温度刺激を足裏に提示することで、足に接触している水の温度がどのように変化するかを確認した。

1. はじめに

温度感覚は複雑であることが知られており、他の皮膚感覚と比べて多くの錯覚現象が発見されている。その顕著な例として、Thermal Grill Illusion (以下、TGI) や Thermal Referral (以下、TR) といった錯覚現象がある[1][2]。TGI は、温覚刺激と冷覚刺激を皮膚上の近傍へ同時に提示した際に痛覚や灼熱感を生起させる。TR は、振動覚刺激や圧覚刺激などの触覚刺激が温冷覚刺激の近傍に提示された場合、温度の知覚位置が触覚刺激を提示した箇所に誘導される。このように温冷覚刺激は干渉されやすく、空間分解能が低い特徴がある。これらの特徴は温冷覚提示の困難させる原因となる場合もあるが、TGI では安全な温度で灼熱のような温度まで知覚させることができ、TR では他の接触している物体に異なる温度を知覚させることも可能となる。

そこで、本研究ではこれら温度錯覚の特徴を VR コンテンツに活用することを考えた。例えば、足湯のような VR コンテンツを考えたとき、お湯を準備することは手間がかかる。しかし、温度提示の組み合わせによって、水の温度が変更させたかのように感じさせることができれば、この問題を解決できる可能性がある。

よって、本稿では足湯のシチュエーションを基に温度錯覚を足裏に生起させるだけで、足に接触している水の温度がどのように変化するかを確認することにした。

2. 温冷覚提示装置

図 1 のように温度提示装置は、4.0cm×4.0cm のペルチェ素子に接着した 4.0cm×10.0cm の厚さ 0.7mm 銅板を提示部とした。その反対面には、放熱板・ファンを接着して放熱させる。銅板とペルチェ素子の間には温度センサ (103JT-25, SEMITEC) を設置し、ペルチェコントローラ (PLC-24V10A, グラック電子) によって提示部の温度を制御する。この温冷覚提示装置を 4 基作成し、足裏の面が十分に入るように容器の底面に全長 30cm になるように設置した。ペルチェコントローラは PID 制御で目標温度を設定でき、Arduino uno からリレーモジュールを介して PC で制御する。

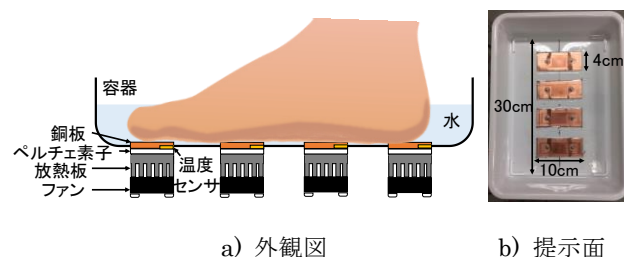


図 1 温冷覚提示装置

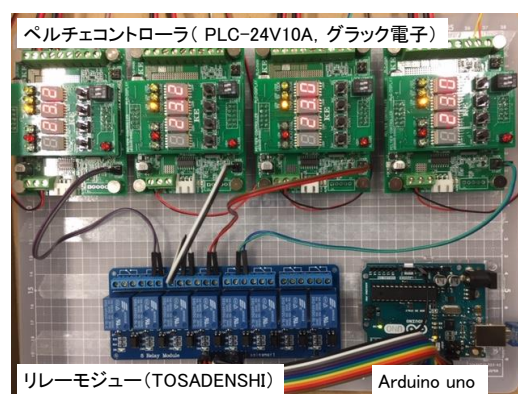


図 2 ペルチェコントローラ

3. 予備実験

【実験目的】製作した温度提示装置で TGI が生起することを確認する。この確認実験では容器内には水は入れず、温度の組み合わせのみを変更する。

【実験内容】評価方法は、Scheffé の一対比較法 (浦の変法) を用いた。被験者は 2 種類の提示パターンを比べ、熱さについて 5 段階 (前者が熱い、前者がやや熱い、同じ熱さ、後者がやや熱い、後者が熱い) で回答する。提示する温度は痛覚として認識されない限界の温度として温覚刺激を 45 度、冷覚刺激を 11 度に設定した[3]。この実験では容器内に水はいれず、各提示部の温度を温冷温冷 (踵側→指先側)、冷温冷温、温温温温と組み合わせた 3 パターンを試行した。各提示パターンは 20 秒間提示し、最後に感じた熱さを比較させる。全ての提示パターンについて比較を行い、各条件で被験者が知覚する熱さの心理尺度を算出する。被

^{†1} 龍谷大学 理工学 情報メディア学科

験者は成人 12 名（男性 10 名，女性 2 名），試行回数は 1 人あたり 3P2=6 回である．実験は以下の手順で行った．

- (1) 3 種類の提示パターンから 2 種類を選択
- (2) 1 つ目のパターンで温度を 20 秒提示
- (3) 2 つ目のパターンで温度を 20 秒提示
- (4) どちらがより熱く感じたかを回答
- (5) 全ての組み合わせについて (1)～(4) を繰り返す

【実験結果】実験結果を図 3 に示す．図中の数直線は，それぞれの提示パターンにおける熱さの心理尺度を示す．数値が大きいほど，被験者は熱く知覚していることになる．この結果より，温冷温冷の提示パターンでは，温覚刺激のみで提示する場合よりも熱く感じており，TGI が生起していることがわかる．一方，冷温冷温では他のパターンよりも熱く感じておらず，TGI が生起しなかった．この要因として，接触面積が狭い刺激は足裏の温度知覚では判断の根拠になっていない可能性がある．しかし，温冷温冷のパターンでは温覚の提示面積が広く，冷覚の提示面積が狭いにも関わらず，温覚刺激にも影響を与えることがわかった．

4. 本実験

【実験目的】予備実験により，温冷温冷の組み合わせでは，TGI が生起することを確認した．そこで，本実験では容器内に水を入れ，温度の組み合わせによって水の温度がどのように知覚させるかを確認する．

【実験内容】対象物体の温度の変化をマグニチュード推定法に基づき評価する．被験者には，足を水につけたときの温度を基準刺激 100 と比較して，提示パターンで知覚した温度を倍数値で回答させた．設定温度は確認実験と同様とした．この実験では容器内に水（23 度）を 1cm いれ，温冷温冷（踵側→指先側），冷温冷温，温温温温，冷冷冷冷と組み合わせた 4 パターンの評価刺激を試行した．被験者は成人 11 名（男性 9 名，女性 2 名），試行回数は 1 人あたり 4 回である．実験は以下の手順で行った．

- (1) 基準刺激（足を容器内の水につける）を提示
- (2) 評価刺激をランダムに 1 つ 20 秒間提示
- (3) 知覚した温度を基準刺激に対する倍数値で回答
- (4) 全ての組み合わせについて (1)～(3) を繰り返す

【実験結果】図 4 に評価値の被験者 11 人の平均値を示す．実験結果から有意差はみられなかったが，温冷温冷の刺激パターンは温温温温よりも評価値が高い．故に，温冷温冷のように TGI が生起する条件において，通常またはそれ以上の温度を提示できることを示唆している．また冷温冷温の条件において，温覚刺激が提示させているにも関わらず，冷冷冷冷と同程度に冷たく感じている．これらの結果から，被験者が提示パターンによって水の温度を変化して感じる事が確認できた．しかし，温冷温冷の条件では痛みを感じてしまう被験者もあり，設定温度を調整することで熱い温度として活用できるように検討する必要がある．

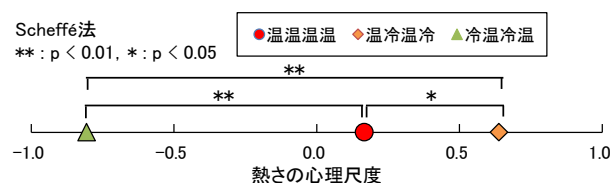


図 3 予備実験の結果

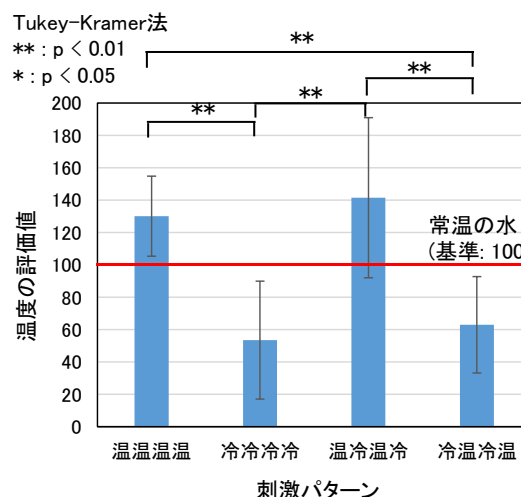
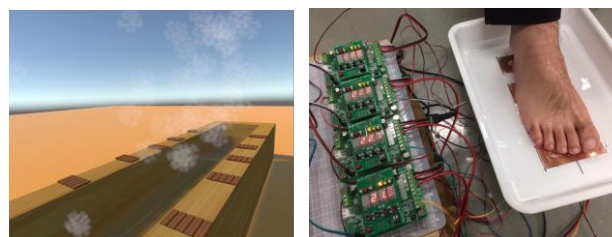


図 4 実験の結果



a) 足湯 VR b) 体験の様子

図 5 VR コンテンツへの応用

5. まとめ

本稿では温度錯覚のコンテンツ応用の一つとして足湯のシチュエーションを基に，温度刺激を足裏に提示するだけで，足に接触している水の温度知覚に影響を与えることを確認した．今後，温度パラメータを変更して，TGI が有効に活用できる設計を行い，図 5 のように実際に VR で足湯を再現し，温冷覚提示装置と組み合わせることで効果的な活用法を検討していく．

謝辞 本研究は科研費・若手研究「複数箇所の温冷覚提示により生じる錯覚現象に関する研究」による．

参考文献

- [1] B. G. Green: "Localization of thermal sensation: An illusion and synthetic heat," *Perception & Psychophysics*, Vol. 22, No. 4, pp. 331 - 337, 1977.
- [2] J. C. Stevens, and K. K. Choo: "Temperature sensitivity of the body surface over the life span," *Somatosens Mot Res* 15, pp. 13 - 28, 1998.
- [3] 富永真琴: "温度受容の分子機構—TRP チャネル温度センサー—", *日本薬理学雑誌*, Vol. 124, No.4, pp. 219 - 227, 2004.