



# 刺激の提示面積が温冷感覚誤認現象に与える影響の分析

Analysis of the Influence of Temperature Display Area on High-Low Thermal Confusion

奥川夏輝<sup>1)</sup>, 橋口哲志<sup>2)</sup>, 松室美紀<sup>3)</sup>, 柴田史久<sup>3)</sup>, 木村朝子<sup>3)</sup>

Natsuki OKUGAWA, Satoshi HASHIGUCHI, Miki MATSUMURO, Fumihisa SHIBATA and Asako KIMURA

1) 立命館大学大学院 情報理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

2) 龍谷大学 理工学部 (〒520-2194 滋賀県大津市瀬田大江町横谷 1-5)

3) 立命館大学 情報理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

**概要:** 我々はこれまでに、前腕の複数箇所にて温覚と冷覚を交互に提示することで、温覚刺激を冷覚、冷覚刺激を温覚として知覚する現象を確認した。この現象について、刺激の提示数、提示間隔、提示温度などの条件がどのように影響するかを分析してきた。一方、人間が知覚する温度は、提示面積のみの変更によって変わることが知られている。そこで次のステップとして、本稿では提示面積に着目し、本現象の発生傾向を分析する。

**キーワード:** 温冷覚, 温冷感覚誤認現象, 提示面積

## 1. はじめに

温冷覚は複雑な知覚特性であることが知られており、それゆえに多くの錯覚現象が発見されている。例えば、Thermal Referral (以下, TR) や Thermal Grill Illusion (以下, TGI) が著名な錯覚現象として挙げられる [1][2]。Watanabe ら [3] の研究は、腕 2 点に温冷覚刺激を提示した際に TR と TGI が同時に発生することを確認している。この際、温覚刺激を冷覚、冷覚刺激を温覚と誤認識 (以下、温冷感覚誤認現象) したケースが存在していた。この点に関して同論文では特に言及されていなかったが、この現象がしばしば起こるならば、意図的に温冷覚の複数箇所提示をする際に致命的な問題になると考えられる。そこで我々はこの温冷感覚誤認現象に着目し、本現象の発生条件について様々なパラメータで実験を行ってきた [4]。本稿では、温度を提示する面積に着目して、温冷感覚誤認現象の発生傾向にどのような影響を与えるかを確認することにした。

温冷覚提示が可能な装着型デバイスを想定した研究は数多く存在する。西村ら [5] は指先で能動的に温度刺激に触れることによる、指の押下力、及び接触面積と温度感覚特性の関係について明らかにした。結果として、押下力が強くなるほど温冷覚刺激の接触面積が増え、受容する熱量が増加し温度感覚が増すと報告している。このような、提示刺激の面積に関する知見は、小型化が必要な装着型デバイスの設計指標に役立てられる。

一方、我々は提示温度と温冷感覚誤認現象の関係について事前に実験を行い、温冷温、冷温冷の組み合わせにおいて、強い温覚刺激 (44 度) を使用した部分で本現象が発

生しやすくなる傾向を確認している。それならば、提示刺激の面積を変更すると、知覚する温度の違いから、温冷感覚誤認現象の発生傾向が変わる可能性がある。

ただし、西村らの知見は指先の接触面積によるものであり、本稿の提示箇所と異なる。また、右前腕の手首側、中央、肘側で温度感覚が異なる場合、面積の影響のみの考察が出来ない。そのため、右前腕において提示刺激の面積の違いによって温度感覚が変化するのか、また右前腕の各提示箇所にて温度感覚が同じかどうかを確認する実験を行う。本実験では、本現象が発生しやすい温冷温、冷温冷それぞれの組み合わせにおいて、提示刺激の面積の違いが本現象にどのような影響を与えるかを確認する。

## 2. 温冷覚刺激

確認実験、本実験ともに、温冷覚刺激を提示するための装置として温度を一定に保つことができるペルチェ温度コントローラ (図 1, 図 2) を用いた。温度の提示面積を変えて比較するため、ペルチェ素子は 40×40mm と 20×20mm を用いた。ペルチェ素子は右前腕腹側の中央、中央から 50mm 離れた手首側と肘側で 1 台ずつの計 3 台設置した (図 3, 図 4)。卓上に設置した装置の上に、右前腕を乗せることで 3 箇所にて温度を同時に提示する。

実験で提示する温度は、ペルチェ素子が長時間安定して提示が可能な温度として、冷覚は 25 度、温覚を 39 度とした。

確認実験の提示パターンは、各提示箇所の温度感覚を確認するために、1 点に温冷覚を提示し、他の箇所は皮膚温度である 32 度を提示している (表 1)。表中の H は温覚刺激の 39 度、C は冷覚刺激の 25 度、N は皮膚温度である



図 1 実験装置  
(40×40mm ペルチェ)



図 2 実験装置  
(20×20mm ペルチェ)



図 3 実験装置の配置  
(40×40mm ペルチェ)



図 4 実験装置の配置  
(20×20mm ペルチェ)

表 1 確認実験の提示刺激

提示温度	刺激の組み合わせ
39度&32度	HNN
	NHN
	NNH
32度&25度	CNN
	NCN
	NNC

表 2 本実験の提示刺激

提示温度	刺激の組み合わせ
39度&25度	HCH
	CHC
39度	HHH(ダミー)

32 度を表している。また 3 点の提示位置は、左から手首側、前腕中央、肘側となる (NHN の場合、左の N は手首側、H は中央、右の N は肘側となる)。本実験の提示パターンは、温冷を交互に提示する HCH と CHC に、全て温覚刺激を提示するダミー刺激 (HHH) を加えた 3 種類としている (表 2)。表の見方は表 1 と同様である。実験スペース内の室温は 25 度±1 度の範囲に設定することで、室温の変化による温度感覚への影響を配慮した。

### 3. 確認実験

#### 3.1 実験目的

確認実験では、右前腕の各提示箇所の温度感覚を確認する。具体的には、単体の温度刺激で温冷感覚誤認現象が発生しないことを確認することに加え、各提示箇所でも提示面積の違いにより温度感覚が異なるかどうか、提示箇所間で温度感覚が同じかどうかを確認する。

#### 3.2 実験条件

確認実験では、表 1 のように 3 点の提示箇所のうち 1 点に温冷覚刺激、他の 2 点に皮膚温度を提示する。3 点の刺激の提示間隔は 50mm としている。この提示間隔で温冷感覚誤認現象が起こることは事前に確認済みである。

図 3, 4 の装置の中心 (真ん中のペルチェ素子) と、実験協力者の前腕中央を合わせるように前腕を置かせることで、温度刺激を提示する。20 秒後に装置から腕を離させ、3 つの提示箇所 (手首側、中央、肘側) それぞれで知覚した温度感覚を「非常に冷たい～非常に温かい」の 7 段階 (図 5) で回答させる。以上を 1 試行とし、計 6 試行をランダムな順序で実施した。実験協力者は成人男性 11 名である。

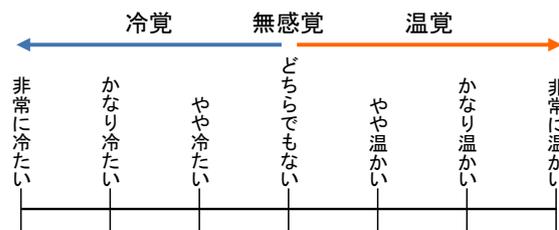


図 5 回答の選択肢

(非常に冷たい～非常に温かいの 7 段階)

#### 3.3 実験手順

- 実験協力者の前腕の長さを測り、中央に印をつける
- 表 1 の提示パターンから 1 つをランダムに選択する
- 装置の温度を設定し、設定温度に安定するまで待つ
- 各提示箇所の腕の温度を計測する
- 実験者の合図と同時に、装置の上に前腕を置かせる
- 20 秒後、装置から前腕を離させ、各提示箇所でも最終的に知覚した温度感覚を図 5 から回答させる
- 腕の提示箇所の温度が初期温度に戻るまで、十分なインターバルを設ける
- 残りのパターンについて (2)～(7) を繰り返す  
ただし、手順 6 において実験協力者がやり直しを希望した場合は、十分な休憩を設け、やり直しを行った。

#### 3.4 実験結果

実験結果を図 6, 図 7, 図 8, 図 9 に示す。図 6, 図 8 は 40×40mm の提示面積、図 7, 図 9 は 20×20mm の提示面積における温度感覚の評価値の回答人数を表している。図中の「-3～3」は図 5 の「非常に冷たい～非常に温かい」に対応している。0 (どちらでもない) は、温覚と冷覚を共に感じていないことを表している。つまり、赤色は温覚、白色は温度を感じない、青色は冷覚を感じたことを表す。

図 6～9 より、どの提示箇所、どちらの提示面積においても、提示した温度刺激と逆 (温覚刺激なら冷覚、冷覚刺激なら温覚) の回答をした協力者はいなかった。また、図 6～9 それぞれにおいて、温度刺激を提示した 3 箇所 (図 6 の場合、HNN の手首側、NHN の中央、NNH の肘側) で温度感覚に差があるかどうか、Bonferroni 法を用いたウィルコクソンの符号付き順位検定を行ったところ、有意差を確認できなかった。また、図 6 と図 7, 図 8 と図 9 において、それぞれの提示箇所でも提示面積の違いで温度感覚に違いがあるか、ウィルコクソンの符号付き順位検定を行った結果、温覚の肘の部分にのみ、有意傾向を確認した ( $p = .086$ )。

これらの結果から、以下のことが確認された。

- 本実験で扱う提示温度で、温覚または冷覚刺激を一箇所のみ提示した場合、温度を正しく知覚可能
- 右前腕において、各提示箇所間で温度感覚には差があるとは言えない
- 右前腕において、提示面積の違いによって温度感覚に差が表れるとは言えない

単体刺激で温度を正しく知覚する事、提示箇所間で温度

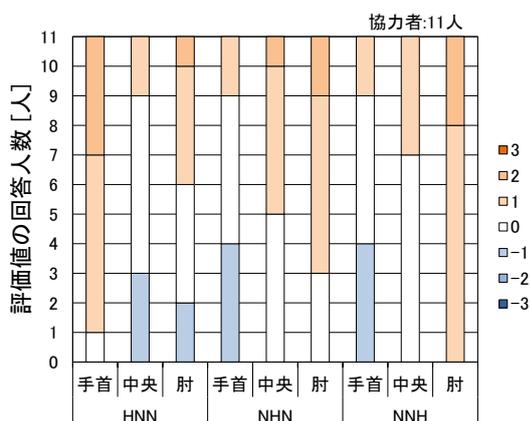


図6 温覚の確認結果 (40×40mm 提示の場合)

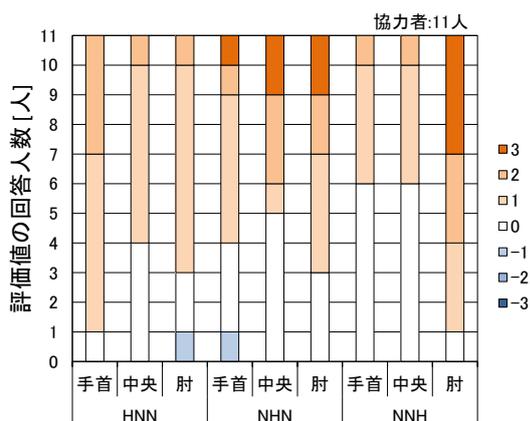


図7 温覚の確認結果 (20×20mm 提示の場合)

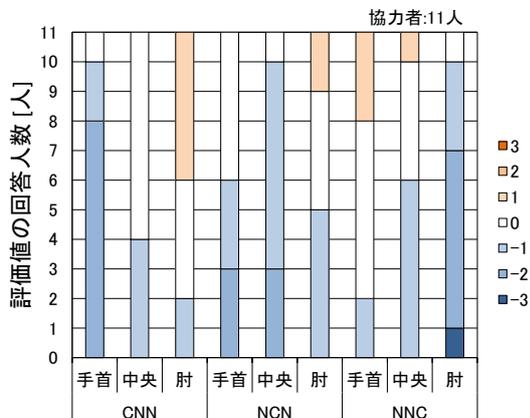


図8 冷覚の確認結果 (40×40mm 提示の場合)

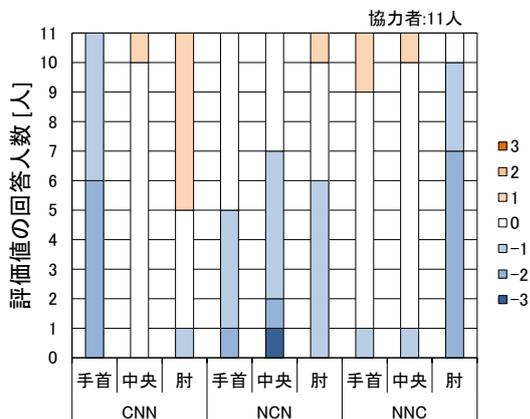


図9 冷覚の確認結果 (20×20mm 提示の場合)

感覚に明らかな差が無い場合、本実験でもこのパラメータを用いることとする。また、提示面積の違いで温度感覚に差が表れないことを確認したため、温冷感覚誤認現象は提示面積の違う条件間でも、同様に発生すると予想される。

#### 4. 本実験

##### 4.1 実験目的

本実験では、温度刺激の提示面積の違いによって温冷感覚誤認現象の発生傾向に違いが生じるかを確認する。確認実験では、提示面積の違いによって温度感覚が顕著に変わらなかったことから、本実験においても提示面積の影響は顕著に表れないと考えられる。

##### 4.2 実験条件・手順

温度刺激の提示装置の配置、刺激の提示方法、温度感覚の回答方法は確認実験と同様である。また、提示刺激の組み合わせは表2の通りである。この組み合わせは先行研究で温冷感覚誤認現象が発生しやすいことを確認したものである。実験協力者1人当たりの試行回数は全ての組み合わせをそれぞれ3回ずつ、 $3 \times 3 = 9$ 試行とする。実験協力者は確認実験と同じ11名である。実験手順は確認実験と同様である。

##### 4.3 実験結果

ダミー刺激を除いた実験結果を図10、図11に示す。図10はHCH、図11はCHCの組み合わせにおける各提示面積の温度感覚の回答割合を示している。このグラフ中で、各提示箇所でも提示された温度刺激と違う温度感覚を回答している割合が、温冷を誤認識している割合となる。

図10の結果に対して、提示面積間で温冷を誤認識した人数に偏りがあるかを確認するため、フィッシャーの正確確率検定を各提示箇所で行ったところ、肘の条件間で有意傾向を確認した ( $p = .086$ )。図11についても同様にフィッシャーの正確確率検定を行ったが、こちらはどの箇所も有意差を確認できなかった。

図10、図11から以下の傾向が読み取れる。

- (i) 提示面積が  $40 \times 40\text{mm}$  の場合、HCH と CHC どちらの組み合わせでも、HC の順に並ぶ箇所がもう一つの箇所と比べ、多く誤認識をしている (図10、図11)
- (ii)  $20 \times 20\text{mm}$  の場合、HCH と CHC どちらの組み合わせでも、手首側と比べて肘側、中央部分で多く誤認識をしている (図10、図11)
- (iii) HCH の組み合わせにおいて、中央と肘側では  $40 \times 40\text{mm}$  と比べ  $20 \times 20\text{mm}$  の条件の方が、温冷を誤認識している割合が高い。それに対して、手首側は  $40 \times 40\text{mm}$  の方が誤認識する割合が高い (図10)
- (iv) CHC の組み合わせにおいて、どの提示箇所でも  $40 \times 40\text{mm}$  と  $20 \times 20\text{mm}$  の条件の間で誤認識をする割合に違いは殆ど見られない (図11)

(i) の傾向は、我々がこれまでの温冷感覚誤認現象に関する研究の中で確認した傾向であり、今回の実験でも同様であったため、この傾向は再現性があると考えられる [4]。この傾向は (ii) のように、刺激の提示面積の違いによ

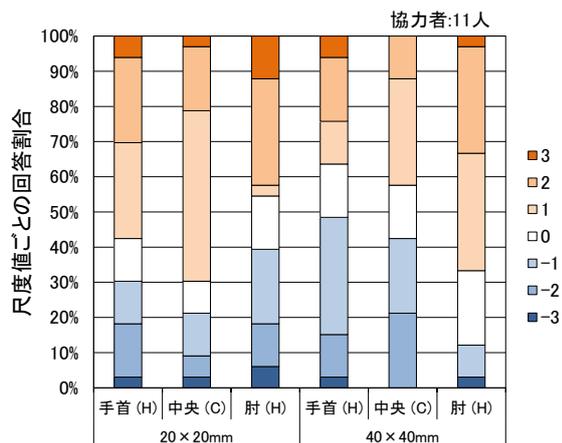


図 10 提示面積ごとの尺度値の回答割合 (HCH)

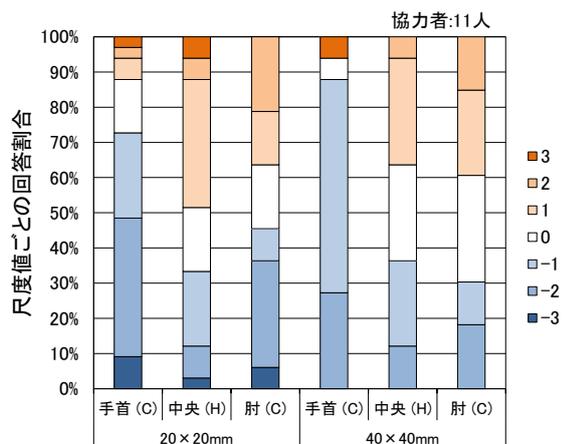


図 11 提示面積ごとの尺度値の回答割合 (CHC)

て異なることを確認した。(iii)のように、HCHの組み合わせを提示した場合には、刺激の提示面積の違いによって各提示箇所でも温冷の誤認識の傾向が変わることを確認した。しかし、(iv)のように、CHCの組み合わせの場合では、刺激の提示面積の違いによって温冷の誤認識の割合が殆ど変わらなかった。

## 5. 考察

3章の確認実験の結果から、刺激の提示面積の違いが温冷感覚誤認識現象の発生傾向に与える影響は小さいと予想した。4章の本実験の結果より、温度刺激の組み合わせがCHCの場合(図11)には、提示面積が与える影響は小さいことが分かる。しかし、温冷温の組み合わせ(図10)においては、右前腕の中央と肘側で、提示面積が40×40mmの場合と比べ、20×20mmの条件の方がより多く本現象が発生していることが分かる。

一方、確認実験より温覚の確認結果から、提示面積が40×40mmの場合と比べ、20×20mmの方が、肘において温度をより強く感じている実験協力者が多いことが分かる。冷覚の確認結果では、この傾向は確認できなかった。つまり、本実験の傾向も踏まえると、提示面積を小さくすることで強い温覚が生じる箇所では、本現象がより発生しやすい傾向にあると考えられる。

1章でも述べた通り、我々は事前に提示温度と本現象の

関係について実験を行っている。結果として、温覚に39度と44度の2種類を使ったところ、44度を提示している組み合わせ、つまり強い温度刺激を提示すると本現象が発生しやすいという傾向を確認した。そこで、このような傾向が、温度刺激の温度を直接変えるだけでなく、提示面積を変更して温度感覚が変わった場合にも本現象に影響を与える可能性がある。

しかし、西村ら[5]の知見とは異なり、右前腕では、肘側のみで刺激の提示面積が小さいほど、温覚が増す傾向を確認した。そのため、他の身体部位でも、本稿の実験結果と異なる傾向が得られる可能性がある。よって、様々な身体部位で本現象の傾向を確認することが必要である。

## 6. むすび

本稿では、温覚を冷覚、冷覚を温覚と誤認識する、温冷感覚誤認識現象の発生要因を分析するため、温度刺激の提示面積の違いが本現象に与える影響を分析した。

確認実験では、右前腕の各提示箇所において、温度の提示面積による温度感覚の違いがあるかを確認した。結果、肘側において温覚のみ、提示面積を小さくするとより強い温覚を知覚する傾向を確認した。

本実験では、温度刺激の提示面積の違いが本現象の発生傾向に与える影響について分析した。結果、HCHの組み合わせにおいて、肘側のみ提示面積を小さくすると、本現象の発生割合が増す傾向があることを確認した。確認実験の結果を踏まえると、提示面積を変更することで温度感覚が変わる箇所においては、本現象の発生傾向が変わることを示唆する結果となった。

今回の実験結果より、他の身体部位で本現象の発生傾向が変わる可能性が考えられる。今後は身体部位と本現象の関係を詳しく分析する実験を行う予定である。

本研究の実験の一部を担当した楊嶋駿氏に感謝の意を表す。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] P. Bach, S. Becker, D. Kleinböhl, and R. Hölzl: "The thermal grill illusion and what is painful about it," *Neuroscience letter*, Vol. 505, No. 1, pp. 31 - 35, 2011.
- [3] R. Watanabe, R. Okazaki, and H. Kajimoto: "Mutual referral of thermal sensation between two thermal-tactile stimuli," *IEEE Haptics Symposium*, pp. 299 - 302, 2014.
- [4] 新井啓介, 橋口哲志, 柴田史久, 木村朝子: "温冷覚刺激の複数箇所提示により生じる温冷逆転現象の分析 (2) ~刺激位置の間隔を変更した場合について~", *日本バーチャルリアリティ学会研究報告*, Vol. 22, No. HDC19, pp. 33 - 36, 2017.
- [5] 西村崇宏, 土井幸輝, 唐澤洋之, 瀬尾明彦: "指先での押下力と温度感覚特性の関係—触対象物との接触面積に基づく基礎的検討—", *日本感性工学会論文誌*, Vol. 13, No.3, pp. 433 - 439, 2014.