



# 接触刺激が Hot-Cold Confusion に与える影響の分析

## Influence of Tactile Stimuli on Hot-Cold Confusion

辻 勇太<sup>1)</sup>, 藤光 翼<sup>1)</sup>, 松室美紀<sup>2)</sup>, 柴田史久<sup>2)</sup>, 木村朝子<sup>2)</sup>

Yuta TSUJI, Tsubasa FUJIMITSU, 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) 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:** Hot-Cold Confusion は, 前腕の複数箇所にて温かい刺激と冷たい刺激を交互に提示することで, 温かい刺激を冷たい, 冷たい刺激を温かいと知覚する現象である. 本現象に関するこれまでの実験では, いずれの実験でも温度提示を行う際, 参加者に装置に触れさせる必要があったため, 温度以外に触感も知覚していた. そこで本稿では参加者に触感を与えなかった場合に, 本現象の生起傾向が変化するかを検討した. 実験の結果, 中央に温かい刺激, その両側に冷たい刺激を提示した場合に, 中央で本現象の生起が増加し, 肘側で減少することが示された.

**キーワード:** 知覚, 温度感覚

### 1. はじめに

温度感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 が著名な錯覚現象として挙げられる [1][2]. また, 新井ら [3] は, 前腕の 3 点にて温度刺激と冷覚刺激を同時に提示した際に温かい刺激を冷たい, 冷たい刺激を温かいと知覚する現象, Hot-Cold Confusion を発見した. この現象は, 意図的に温度を複数箇所にて提示する際に致命的な問題になると考えられる. そのため, Hot-Cold Confusion の発生条件について, 様々な実験が行われてきた.

新井ら [4] は, 提示間隔や, 提示温度の条件を変更した際の本現象の発生傾向の分析を行った. また, 奥川ら [5] は, 提示面積や, 提示部位を変更した際の本現象の発生傾向の分析を行った. しかし, いずれの研究でも温度提示を行う際, 実験参加者に装置に触れさせる必要があったため, 温度以外に触感を知覚している. そこで本稿では, 触覚に着目し, 触覚刺激を排除した際の本現象の生起に関する分析を行う.

Cataldo ら [6] は, TR に関し, 触覚刺激を排除し, 温度提示を行う研究を行った. この研究では, 赤外線電球から発せられる放射状の熱刺激を使用することで触感を排除した温度提示を行っている. 結果として, TR の発生を確認し, TR がモダリティ間の相互作用の結果ではないことを示した. そこで本実験では, 触覚刺激を排除した際の温

度提示が Hot-Cold Confusion にどのような影響を与えるかを確認し, Cataldo ら [6] と同様に本現象が生起するかを検討する.

### 2. 温冷覚刺激

本実験では, 水中にて温度提示を行う装置を作製した. Cataldo ら [6] は赤外線電球を使用することで放射状の熱刺激の提示を可能としていたが, 同様の手法で冷たい刺激を提示可能な装置は作製するのが困難であった. 今回作製した装置は, ボトルと水槽から構成されており, 水槽の上部に固定したボトルに水を溜め, 上から水を排出することによって温度提示を行う (図 1). 水中での温度提示は, 温度提示を行っていない箇所にも一定の圧力がかかっているため, 触感を与えずに温度が提示できると考えられる.

装置には, 奥行き 30cm, 幅 60cm, 高さ 26cm のガラス製の水槽を用い, 水槽の半分の高さまで水を張る. 底には手置き台を設置しており, ここに手を置くことで肘と手首の太さの違いによる高さの差を無くす. また, 水を溜めるボトル部分にはドレッシングなどの保存に使用するボトルの底をくり抜き, 逆さ状態で固定する. このボトルから水を排出し, 温度の提示を行う. しかし, このままではボトルから排出する水の勢いで腕に触感が生じてしまう. そこで, 不織布をボトルと蓋の間に挟み込むことで水が排出される勢いを緩やかにする. ボトルは手首側, 中央, 肘側の 3 個を, 排出口が前腕から 6cm となる位置に 75mm 間隔で設置する.



図 1: 温度刺激提示用の装置

実験で提示する温度は、人間の温度受容器の特性を考慮し、設定した。温受容器は、32 度以上 45 度以下で興奮し、冷受容器は 10 度以上、30 度以下で興奮すると言われている [7]。また、高すぎる温度や低すぎる温度は痛覚として認識してしまうことが知られている [8]。これらより、本実験では、温かい刺激を 44 度、冷たい刺激を 11 度とした。この設定温度は装置のボトルに入れる水の温度である。腕に到達するまでに、水槽内の水と混ざり温度が変化するため、事前に著者らが実際に装置を使用し、腕で知覚される温度を確認した。1 箇所のみで一方の温度の刺激を提示した際に、温かい、冷たいが正しく知覚された。また、30 度~36 度の範囲の温度は温かいとも冷たいとも知覚されない無感温度として知られている [9]。そのため水槽内の水の温度は 32 度に設定した。

本実験の提示刺激の組み合わせは、温かい刺激と冷たい刺激を交互に提示する 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 種類とした。H は温かい刺激の 44 度、C は冷たい刺激の 11 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 (HCH の場合、左の H は手首側、C は中央、右の H は肘側となる)。この組み合わせは、先行研究 [3] において Hot-Cold Confusion が最も発生しやすかったものである。室温は 25 度±1 度の範囲に設定した。

### 3. 実験

#### 3.1 実験条件

実験参加者 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、全 9 試行とした。評価方法は、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 2) で回答させた。実験参加者は成人男性 11 名であった。年齢の平均が 22.2 歳、標準偏差は 1.1 歳であった。実験開始前に温度を正しく知覚できることを確認した。

#### 3.2 実験手順

始めに、実験参加者の前腕の長さを測り、中央に印をつけた。この印は、装置の中央と前腕の中央を合わせるために使用した。次に、提示刺激の組み合わせから 1 つをランダムに選択する。提示刺激選択後、提示する水の温度を適

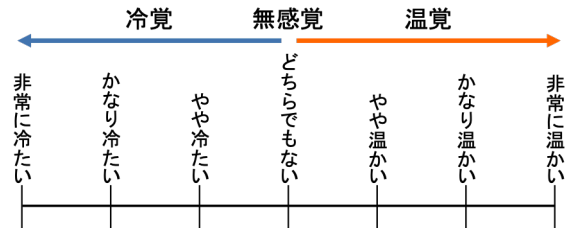


図 2: 回答の選択肢

(非常に冷たい~非常に温かいの 7 段階)

切な温度に調節し、装置のボトル部分に注ぐ。この際、冷たい刺激は、予め冷やしておいた水と常温の水を混ぜることで温度の調節を行った。また、温かい刺激は、温度調節可能な電気ケトルを使用した。提示刺激を準備した後、参加者に合図をし、水槽に手を入れさせた。その際、前腕につけた印と装置の中央を揃えさせた。合図とともに、ボトル部分のキャップを外し、温度提示を行う。20 秒後、提示部分と参加者の前腕の間に仕切りを入れ、ボトルから排出される水と前腕を遮断した。提示終了後、提示した 3 箇所それぞれで知覚した温度を 7 段階のリッカート尺度で回答させる。その後、前腕を水槽から出させ、前腕の温度が、初期温度に戻るまで、十分なインターバルを設ける。

#### 3.3 実験結果

ダミー刺激を除いた実験結果を図 3 の左部分に示す。HCH, CHC の組み合わせにおける温度感覚の評価値の回答人数を表している。このグラフ中で、各提示箇所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、提示された温度と逆の温度を回答している割合となる。図 3 の左部分より、HCH, CHC のどちらの組み合わせにおいても Hot-Cold Confusion が生じていたことがわかる。また、先行研究 [4] と同様に、特に中央部分で多く生じていた。

参加者に触感を与えた際の結果と差異があるかを調べるために、新井ら [4] の結果との比較を行った。新井ら [4] は、44 度と 11 度に設定したペルチェ素子を用い、40mm 間隔で刺激を提示していた。ボトルから排出される水と水槽内の水が混ざることから、本実験において、参加者が実際に腕で温度を感じる際には、75mm よりも間隔は狭くなっていると考えられる。その他の点では、触覚刺激以外の実験条件が最も近い実験設定であった。図 3 の右部分に、新井ら [4] のデータをもとに作成したグラフを示す。

触覚刺激を排除した実験と触覚刺激ありの実験で温覚と冷覚を誤認した数に偏りがあるかを確認するために、各提示パターンそれぞれの部位で、本実験と新井ら [4] による実験における Hot-Cold Confusion の発生率を、フィッシャーの正確確率検定を用いて比較した。その結果、CHC の中央で有意な偏りがあり、触感なしの場合に Hot-Cold Confusion がより多く生じていた ( $p = .011$ )。また、

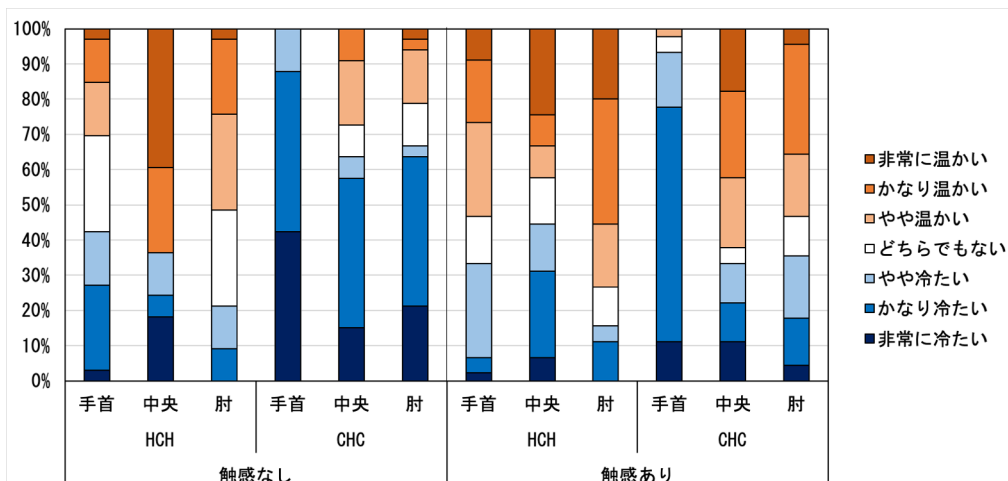


図 3: 実験結果

CHC の肘側で有意な偏りがあり、触感なしの場合に Hot-Cold Confusion の発生率が低下していた ( $p = .005$ ). HCH の中央の偏りには有意傾向があり、触感なしの場合に Hot-Cold Confusion がより多く生じる傾向があった ( $p = .071$ ). 他のパターンや部位では偏りは有意ではなかった ( $ps > .480$ ).

これらの結果から以下のことが確認された。第一に、触覚刺激の有無に関わらず、Hot-Cold Confusion が発生することを確認した。また、触覚刺激を排除したことにより、CHC の提示パターンにおいて、Hot-Cold Confusion が生じる傾向が変わった。一方、HCH の提示パターンでは、中央で有意傾向が観察されたものの、その発生は変わらなかった。

#### 4. 考察

我々は、触覚刺激の有無が Hot-Cold Confusion に与える影響を確認するために、触覚刺激を排除した温度提示の実験を行った。結果として、触覚刺激の有無に関係なく Hot-Cold Confusion が発生することを確認した。また、新井ら [4] による実験における Hot-Cold Confusion の発生率と比較した結果、CHC の中央では、触感なしの場合に Hot-Cold Confusion がより多く発生し、肘側では、触感なしの場合に Hot-Cold Confusion の発生率が低下した。

次に、Cataldo ら [6] の研究との比較を行う。触覚刺激の有無と関係なく、Hot-Cold Confusion の発生を確認したことから、Hot-Cold Confusion は TR と同様にモダリティ間の相互作用の結果でないことが分かった。また、Cataldo [6] らの研究では TR が 3 箇所提示された温度が平均化され、各位置で提示されたように知覚されるという空間的総和によって発生したと説明されていた。しかし、その場合、3 箇所感じられる温度は同じ温度となるため、今回の結果は、空間的総和では説明ができない。よって、新井 [3] も述べている通り、Hot-Cold Confusion と TR の発生メカニズムは異なると考えられる。

本実験の CHC の中央、肘部では、Hot-Cold Confusion

の発生傾向が触覚の有無により異なっていた。しかし、両方で冷たいと回答する割合が増加したことから、水中で温度提示を行っていた影響である可能性も考えられる。そのため、水中での提示による影響に関しては、今後の検討が必要である。

また、本研究では、触覚刺激を排除する手段として水中で温度提示をすることにしたが、ボトルから排出された水の流れにより、参加者が水中で触感を感じていた可能性が否定できない。そのため、この実験装置で温度を提示した際に触感が生じていなかったことを確認する実験を行う必要がある。

#### 5. むすび

本稿では、温かい刺激を冷たい、冷たい刺激を温かいと知覚する、Hot-Cold Confusion に関して、触覚刺激に着目し、触覚刺激の有無が本現象に与える影響を調べた。触感を排除して温度を提示することにより、Hot-Cold Confusion の発生傾向が変化するかを分析した。その結果、中央に温かい刺激、その両側に冷たい刺激を提示した時、中央において触感なしの場合に Hot-Cold Confusion がより多く、肘側でより少なくなることを確認した。この結果より、触覚刺激を排除することで、Hot-Cold Confusion の発生傾向が変化する可能性が示された。しかしながら、今回の実験では、触感を完全に排除できていなかった可能性もある。今後も、触覚刺激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。

#### 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] Arai K, Matsumuro M, Hashiguchi S, Shibata F, Kimura

A. Hot-cold confusion: Inverse thermal sensation when hot and cold stimuli coexist in a thermal localization task. perception, Vol. 508-523, 2021.

- [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] 奥川夏輝, 橋口哲志, 松室美紀, 柴田史久, 木村朝子: 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, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告.
- [6] Cataldo, A., Ferrè, E., di Pellegrino, G. et al: Thermal referral; evidence for a thermoceptive uniformity illusion without touch, Sci Rep 6, 35286, 2016
- [7] 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.
- [8] 熊本栄一, 藤田亜美: 末梢から脊髄後角へ入力する痛み情報の制御: シナプス伝達と神経伝導の修飾, 日本疼痛学会誌, Vol. 26, No. 4, pp. 197 - 214, 2011.
- [9] 岩村吉晃: タッチ (神経心理学コレクション), 医学書, 2001.