



Hot-Cold Confusion における各温度の 知覚分布に関する分析

羽田野将大¹⁾, 辻勇太¹⁾, 松室美紀²⁾³⁾, 橋口哲志⁴⁾, 柴田史久¹⁾, 木村朝子¹⁾

Masahiro HADANO, Yuta TSUJI, Miki MATSUMURO, Satoshi HASHIGUCHI, 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) 立命館大学総合科学技術研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

3) Penn State College of Information Sciences and Technology (University Park, Pennsylvania, USA, 16802)

4) 立命館大学 立命館グローバル・イノベーション研究機構 (〒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度刺激と冷覚刺激を同時に提示することで、温度刺激を冷たい、冷覚刺激を温かいと知覚する現象である。これまで本現象は、温度提示装置の位置に合わせた 3 箇所にて知覚した温度を回答させていた。そのため、温度の提示位置と腕全体における温度の知覚分布の関連を詳細に検討することができていなかった。そこで、本稿では前腕全体に対して自由に知覚した温度とその位置を回答させることで、より詳細な検討を行った。

キーワード: 温冷覚, 知覚分布

1. はじめに

温度感覚では Thermal Referral や Thermal Grill Illusion といった著名な錯覚現象が発見されている[1][2]。近年では, Arai ら[3]が前腕の 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。Hot-Cold Confusion の発生条件については, 提示間隔や提示温度[4], 提示面積や提示部位[5][6]の変更など, さまざまな要因が検討されている。

これらの実験では温度提示装置が 3 箇所にて存在することを認識した状態で, その 3 箇所にて知覚した温度を回答させていた。つまり, その 3 箇所以外の部分でどのように温度を知覚しているかは確認できていない。Arai ら[3]は, 温度の提示位置の誤認, 例えば, 温かい, 冷たい, 温かいの並び順で刺激が提示された時に, 温かい, 温かい, 冷たいのように提示位置を誤認することにより, Hot-Cold Confusion が生じるのではないかと考察している。しかし, これまでの回答方法では, 実際には, 並び順は保ったまま全体的に知覚位置がずれていても先行研究と同様の回答が得られる可能性がある。また, 実際には回答箇所にて両温度を知覚しているが強制選択により一方を回答した可能性もある。

辻ら[7]は触感の有無の影響の検討の過程で, 回答位置を指定せず, 知覚した温度を自由に回答させた。しかし, 彼

らの実験では, 触感を与えないように温度刺激の提示に水を使用したため, 水流により提示位置が一定とはならず, 参加者の回答と正答の直接的な比較が難しかった。

そこで, 本稿では, 位置を統制し温度を提示した上で, 辻ら[7]の回答方法を改良し, 前腕全体に対して知覚した温度とその位置を自由に回答させた。しかし, これまでの提示方法では, 参加者が装置への接触から提示位置を推定し, それを回答に反映させてしまう可能性がある。そこで, 従来通りの 3 箇所のままで提示する条件と, 提示装置間の隙間を埋め, 1 つの物体から温度が提示されているように知覚させる条件の 2 条件を用意し, Hot-Cold Confusion の発生傾向を分析する。

2. 温冷覚刺激

本実験では, 温冷覚刺激を提示するためにペルチェ素子を用いる。温度の提示位置は, 右前腕腹側の中央と, 中央から 40mm 離れた手首側と肘側の計 3 箇所とする(図 1)。この装置の大きさは 40×40mm であった。また, 温度提示装置の温度はペルチェ温度コントローラ (VPE-20-5V, 株式会社ビックス) で変更する。卓上に設置した温度提示装置の上に右前腕を乗せることで, 3 箇所同時に温度を提示する。

図 1 に示す 3 台を並べた状態が, 先行研究と同一の条件であり, 参加者は 3 箇所から提示があることが認識可能である。これを「複数個体」条件とする。

上述の通り、提示位置の推定を防ぐために提示装置間の隙間を埋め、1つの物体から温度が提示されているように知覚させる条件を「単一個体」条件と呼び、その様子を図2に示す。予備調査により、単一個体条件の装置と、同じサイズの1枚のアルミ板は、触覚のみでは判別できないことを確認している。

実験で提示する温度に関しては、人間の温度受容器の特性を考慮して設定した。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度以下で興奮することが知られている[8]。また、高すぎる温度や低すぎる温度を提示すると、痛覚として認識してしまうことも知られている[9]。そこで実験で提示する温度を、冷覚は11度、温覚は44度とした。30度から36度の範囲の温度は、人間には温度を知覚できない無感温度として知られている[10]。そこで、提示装置間に設置した装置には32度を提示するようにした。つまり、複数個体条件の3箇所の提示位置はそのままに、単一個体条件では提示装置間が無感温度で埋められていた。

実験の提示パターンは、先行研究[4][5][6]と同様に、温冷覚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、計3種類とした(以降、Hは温覚刺激の44度、Cは冷覚刺激の11度、Nは無感温度の32度を示す)。

3. 実験

3.1 実験目的

本実験では、Hot-Cold Confusionが生起する際の温度知覚分布を確認した。触感の影響を検討するため、装置間に隙間のある複数個体条件と隙間にも無感温度の装置を設置した単一個体条件の2条件を用意した。

3.2 評価手法

回答はタブレットPC (Surface Go 3 8VA-00015) 上で行った。表示された前腕のイラストの、温度を感じた場所に対応する箇所を塗るように教示した(図3)。このとき、感じた温度と色が対応しており、温かいと感じた場合は赤色、冷たいと感じた場合は青色で回答させた。なお、温度を感じなかった場合には何も塗らずに白色のままにしておくように教示した。この時、3つの黒点と対応する点が、実験開始前に参加者の腕につけられていた。

感じた温度の度合いを区別するために、より強く感じた箇所には色を重ね塗りさせた。図3のように「非常に冷たい」「冷たい」「やや冷たい」「どちらでもない(白)」「やや温かい」「温かい」「非常に温かい」の7段階で回答を行わせた。

3.3 実験環境・手順

実験実施時の参加者と装置の配置を図4に示す。温冷覚提示装置以外の部分は参加者から見えないように布で覆った状態で実験を行った。部屋の温度は 25 ± 1 ℃、湿度は40~60%とした。

実験参加者は成人の男女15名(男性8名、女性7名)

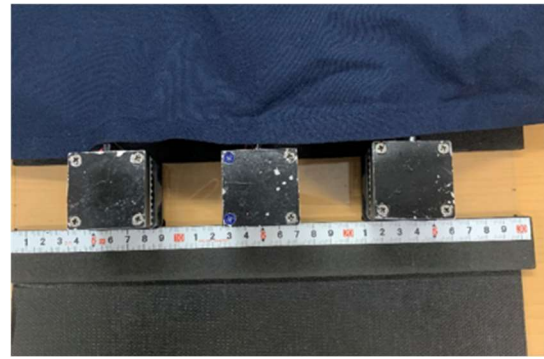


図1: 実験装置の配置
(複数個体)

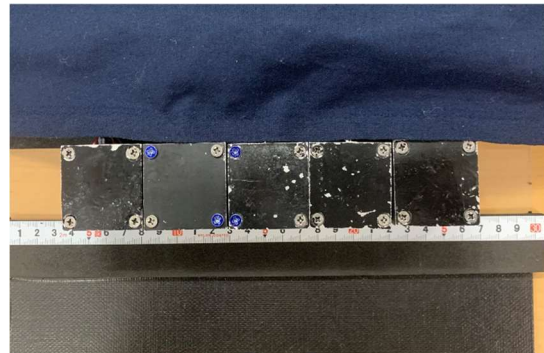


図2: 実験装置の配置
(単一個体)

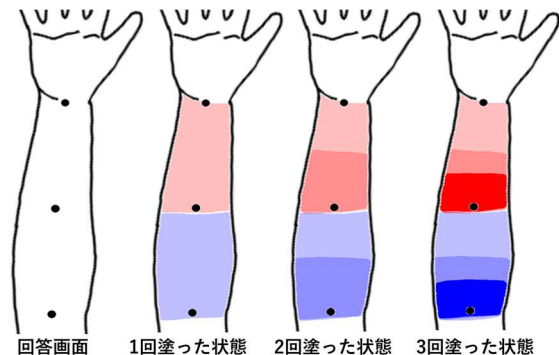


図3: 回答方法

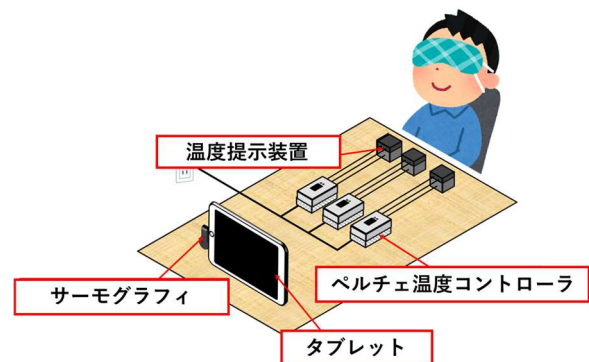


図4: 実験環境

であった。すべての参加者は実験開始前に、一箇所からの温度提示により、温度を正しく知覚できることを確認している。実験開始前に各参加者からインフォームドコンセントを得た。

1 試行の流れは以下の通りであった。温度提示の準備が完了後、実験参加者はアイマスクを装着した。これは視覚情報から装置の個数を認識させないためである。実験参加者の前腕の中央を、中央に配置された装置の中央に合わせ、実験者の合図と同時に腕を装置に接地させた。20 秒後に装置から腕を離させ、装置を隠し、回答用とは異なるタブレット (iPad Air) に装着したサーモグラフィ (Seek Compact, Seek thermal Inc.) により、前腕の温度を確認した。その後、参加者はアイマスクを外し、知覚した温度を回答した。回答は左手で行い、右腕は所定の位置におくものとした。腕の体温が実験開始時に測定した温度に戻るまで、3分以上の十分な休憩をとり、次の試行を開始した。

3 種類の温度の組み合わせを1ブロックとし、各条件で3ブロック、全9試行を行った。ブロック内での温度の提示順は無作為に決定された。実験は2日間に分けて行い、各日で複数個体条件か単一個体条件が実施され、その順番はカウンターバランスがとられた。

3.4 結果・考察

はじめに、提示箇所ごとの誤解答の割合を算出した。イラストの腕の長さを5等分して、両端と中央に提示した温度を割り当てて模範解答を作成した。これは温度提示後にサーモグラフィで腕の提示箇所の温度を計測した結果とほぼ一致する。この模範解答と参加者が作成した回答の色をピクセルごとに比較し、誤認率を算出した。この時、同色系であれば正答と見なした。無感温度提示、または装置のない位置への着色は考慮していない。

各回答の割合を図5, 6に示す。提示パターンごとに、手首、中央、肘側で正答率と誤認率と未回答(どちらでもない)率の平均値を算出したものである。なお、誤認がHot-Cold Confusionにあたる。

いずれの条件でも、中央で最も誤認が多く、その中でもHCH(単一個体)の誤認率が最も高い。続いて、温度の提示順がHCHの場合は手首側で、CHCの場合は肘側で誤認率が高い。ただし、複数個体条件と単一個体条件の間で、誤認率の割合や誤認位置の傾向に差異は見られなかった。

上記は、平均した結果であり、回答の傾向には個人差があった。そこで個別に回答の内容を観察し分類を行った。はじめに、ほぼ提示した位置に提示した温度を回答できている回答は全体の約33%であった。そして、誤認があった場合、回答は以下の4パターンに分類できた: 知覚温度の切り替えが1回しかない、または3回以上生じていたものを、「回答箇所が提示箇所と異なる回答」、知覚温度の切り替えがなかったものを、「全体的に同じ温度を感じている回答」、提示温度の順番は正しいが、中央の温度が中央の黒点よりも手首、肘側に移動しているものを、それぞれ、「手首側に回答箇所が移動している回答」、「肘側に回答箇所

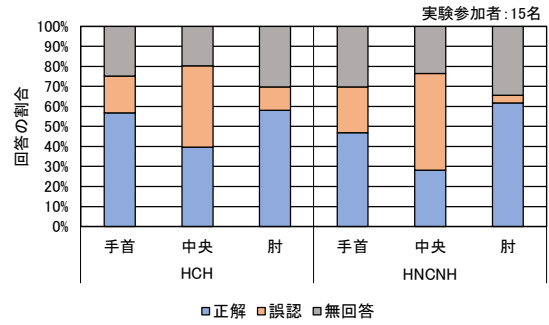


図 5: 提示箇所ごとの温度知覚に対する回答の割合 (HCH)

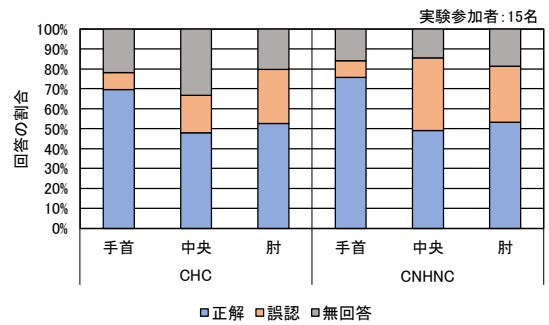


図 6: 提示箇所ごとの温度知覚に対する回答の割合 (CHC)

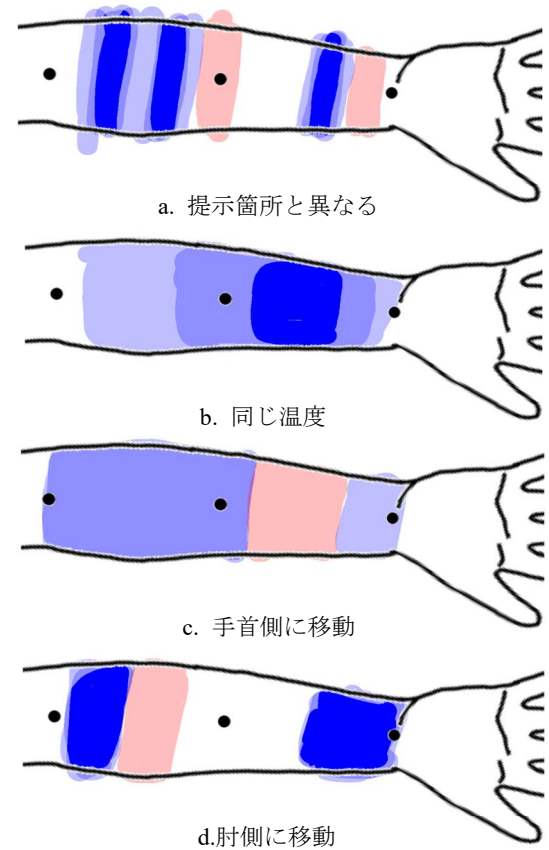


図 7: 誤答パターンの代表例。上から、回答箇所が提示箇所と全く異なる、全体的に同じ温度を感じている、回答箇所が手首側に移動している、肘側に移動している例。

所が移動している回答」とした。それぞれのパターンの代表例を図 7 に示す。

提示した温度の順と異なる回答は正答を含めた全体の約 56%であり、単一と複数個体に差は見られなかった。Arai ら[3]の実験での Hot-Cold Confusion の発生割合が 50%程度であったことを考えると、Arai らが考察していたように、温度自体は正しく認識出来ているが正しい位置を知覚できていないことが confusion に繋がった可能性が高い。つまり、このような位置の誤認をした参加者が誤認した順番に基づいて、3 箇所での回答を行ったため、Arai ら[3]の実験において confusion が観察されたと考えられる。彼らの実験における confusion の割合と、本研究における順番が異なる回答パターンの割合がほぼ一致したことがその可能性を支持する。

また、中央温度の移動に関しては、提示パターンが HCH の場合は、手首側に回答箇所が移動していることが多かった。一方、CHC の場合は、肘側に回答箇所が移動していることが多かった。この結果は、誤答率にて温度提示パターンごとに、異なる傾向を示した結果と一貫している。Arai ら[3]の実験でも同様の傾向が確認されており、confusion の起こりやすい温度と位置があると考えられる。

さらに、このパターンは回答位置のみをみると、confusion が生じているが、3 箇所での強制的に選択させた場合は、知覚した温度の順番に基づき回答された可能性がある。その場合、Arai らの研究では、結果に現れにくかった confusion のパターンとなる。上記の提示位置と異なる回答と同一の原因、メカニズムで生じているのかは、更なる検討が必要である。

最後に、全体が同じ温度であるという回答パターンは CHC の場合でしか見られず、CHC の回答のうち約 9%しかこれに当てはまらなかった。この回答は、Hot-Cold Confusion よりも Thermal Referral に類似した回答である。この回答パターンがほとんど観察されなかったという結果は、Hot-Cold Confusion と Thermal Referral が異なる錯覚であることを支持する。

4. むすび

本稿では Hot-Cold Confusion の発生要因を分析するため、前腕全体に対して知覚した温度とその位置を回答させることで、より詳細な検討を行った。その結果、温冷の両方を実際の提示位置とは異なる位置で知覚した回答が全体の半数以上を占めていた。この結果は Hot-Cold Confusion が発生する理由は、提示された温度の種類は正しく認識出来ているが、その局在化に失敗するためである

ことを示唆する。

また、HCH の場合は、肘側よりも手首側に回答箇所が移動し、CHC の場合は、手首側よりも肘側に回答箇所が移動している結果が多く見受けられた。このような回答箇所のずれと、温度の提示位置を配置すら異なって知覚した現象が同じメカニズムで生じているかは今後の更なる検討が必要である。

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] K. Arai, M. Matsumuro, S. Hashiguchi, F. Shibata, and A. Kimura: Hot-cold confusion: Inverse thermal sensation when hot and cold stimuli coexist in a thermal localization task, *Perception*, Vol. 50, No. 6, pp. 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, 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 5A-01, 2019.
- [6] S. Hashiguchi: Analysis of Hot-Cold Confusion on Fingers, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 33, No. 5, pp. 1117 - 1127, 2021.
- [7] 辻勇太, 藤光翼, 松室美紀, 柴田史久, 木村朝子: 接触刺激が Hot-Cold Confusion に与える影響の分析, 第 26 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 1E3-4, 2021.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 岩村吉晃: タッチ (神経心理学コレクション), 医学書, 2001.