

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：34316

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18079

研究課題名（和文）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

研究課題名（英文）Analysis of paradoxical phenomenon caused by presenting thermal stimulation on multiple spots

研究代表者

橋口 哲志（Hashiguchi, Satoshi）

龍谷大学・先端理工学部・助教

研究者番号：70710581

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では温覚刺激と冷覚刺激を複数箇所に同時に提示した際に、温覚刺激を冷たい、冷覚刺激を温かいと知覚するような矛盾感覚が発生する現象に着目した。この現象は提示温度と真逆の温度に感じてしまうため温冷覚提示の実用に向けて大きな問題となるが、さらにこの現象を分析することで効率的な温冷覚提示も実現できる可能性がある。そこで、本現象がどのような条件で発生するかを分析することにした。その結果、前腕や手指において8割の被験者が錯覚を生起することを確認し、この現象の応用についても示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で対象とする温冷逆転現象は、非侵襲な温冷覚刺激の組み合わせによって生成するため、安全に活用することができる。さらに温冷逆転現象がどのような条件で発生したかを考察することで、温覚と冷覚の統合アルゴリズムに関する知見を得ることができる。

また、複数箇所に温冷覚刺激を提示した場合、複数の錯覚現象が発生する。各錯覚現象は、各々の特長から提示刺激とは異なる温度に知覚される。この現象を逆手に取り、意図した温度に知覚させ、かつ効率的な提示が行える温冷覚刺激の組み合わせを提案できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we focused on the phenomenon of inconsistent sensation, such as the perception of cold when a warm stimulus is presented and warm when a cold stimulus is presented, when both warm and cold stimuli are presented simultaneously at multiple locations. This phenomenon is a major problem for the practical use of hot/cold sensory presentation because it causes the sensation of temperature that is the exact opposite of the temperature at which the stimuli are presented. Therefore, we decided to analyze the conditions under which this phenomenon occurs. As a result, we confirmed that 80% of subjects experienced the illusion in the forearms and fingers, and suggested the application of this phenomenon.

研究分野：バーチャルリアリイ

キーワード：温度感覚 錯覚

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

視聴覚インタフェースの発展に伴い、更なるリアリティの向上を目指すため、触覚インタフェースの開発が活発に進められている。この触覚の中でも温冷覚には、金属の質感提示 [1]、温冷感の環境変化 [2]、感情や心情への影響 [3] など、他の触覚刺激にはない特長がある。そこで、この特長を活用すべく、人の温度知覚に対応できる温冷覚提示装置が開発されており [4][5]、温冷覚インタフェースは実用に向かっている。

しかし、実用に向けた問題として、温冷覚の知覚特性が複雑であり、正確に温度を提示しても意図した温度に知覚させることが困難であることが挙げられる。温冷覚の受容器は温覚が温点、冷覚が冷点であるが、他の触覚と比べて受容器が少ない。それに加えて、刺激箇所でも検知閾が異なり、年齢や性別による個人差も大きい。また、これらの曖昧性も相まって、多くの温冷覚における錯覚現象が発見されている。その顕著な例として、Thermal Referral (以下、TR) や Synthetic Heat (以下、SH) といった錯覚現象が知られている [6][7]。TR では、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の提示箇所に誘導される。また、SH で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熱感を生起させる。これが痛覚や灼熱感に至った場合、著名な錯覚である Thermal Grill Illusion (以下、TGI) となる。このように温冷覚刺激は他の刺激に干渉されやすいため、これらの刺激を同時に扱う際に注意が必要となる。

温冷覚の錯覚現象は、単一の刺激を提示する場合には生起しないが、複数箇所へ刺激を提示する場合に生起する。温冷覚提示の実用として、身体に装着して広範囲な提示を行う際、複数箇所に温冷覚刺激を配置することが考えられる。そこで、これらの錯覚現象について、Watanabe ら [8] は前腕の 2 点に温冷覚刺激を提示することで、温冷覚の移動 (TR) と痛覚 (TGI) が同時生起することを確認している。一方、その実験の中で温冷覚刺激を組み合わせ提示した際に、温覚刺激を冷覚、冷覚刺激を温覚として回答する場面が見られた。

この結果について特に議論されていないが、刺激箇所を増した場合にはさらに複雑になり、このような現象が頻出することが考えられる。そこで、我々は温冷覚刺激を前腕の 3 点に拡張した場合について予備実験を行った。その結果、2 点の場合より 3 点の方が提示刺激と真逆の温度に知覚する確率が増加した [9]。

よって、温冷覚刺激箇所を増やした場合、意図した温度に知覚させることがさらに困難になることがわかる。しかし、温冷逆転現象などの錯覚をうまく組み合わせることにより、効率的な温冷覚提示が行える可能性もある。そこで、複数箇所への温冷覚提示を正確かつ効率的に知覚させるには、適切に刺激を組み合わせる必要がある。

2. 研究の目的

本研究では複数箇所に温冷覚刺激を提示した際、各刺激箇所における温度知覚の傾向を分析する。この分析により温冷覚刺激の複数箇所提示における設計指針を作成する。また、その作成した設計指針を実用に向け、ウェアラブルな温冷覚提示装置を作成し、妥当性を示すための検証実験を行う。

3. 研究の方法

本研究では、以下の項目を順次進めた。

項目 A: 温冷逆転現象が生起する条件の確認

本研究では複数箇所に温冷覚刺激を提示した場合、各錯覚現象がどのような条件で起こるのかを確認する。評価方法は温度知覚の強度に関する主観実験とサーモグラフィを用いた提示部の皮膚温度計測を行う。提示部は前腕であり、温覚刺激、冷覚刺激、無関温度刺激の 3 種類を組み合わせ提示する。この際、提示数、刺激間距離、提示温度を系統的に変更し、錯覚現象の生起を確認する。この結果から、各錯覚現象の相互作用なども鑑みて、効率的な温冷覚提示の設計指針を立てる。

項目 B: 温冷覚錯覚現象を活用した効率的な温冷覚提示法の検討

項目 A で求めた設計指針をもとに、効率的な温冷覚提示法を検討する。まず提示装置を装着して使用できるように改良する。現在、40×40mm のペルチェ素子を使用しているが、小型のペルチェ素子を個別に制御することで装着型でも使用可能にする。そして、このペルチェアレイを手指に装着した場合で錯覚現象を用いた効率的な温冷覚提示が使用可能かどうか検証する。

項目 C: 総括

項目 A、B のそれぞれで得られた知見を総括し、温覚と冷覚の統合アルゴリズムに関して考察を行う。

4. 研究成果

(1) 矛盾現象の発生傾向を分析するため各種実験を行った。まず実験では温冷覚刺激を前腕の 1 点、2 点および 3 点に提示した際に、矛盾現象が発生する傾向を確認した。これらの結果より、温冷覚刺激の提示数を増やすことで提示刺激と真逆の温度を知覚する現象の生起率が増加する

ことがわかった。その温冷覚刺激の組み合わせの中でも前腕の 3 点で交互になるように提示したところ、矛盾現象の発生率が高く、中央だけでなく外側 2 点でも矛盾現象が発生することを確認した。

(2) さらに矛盾現象の発生要因を分析するため、刺激位置の間隔と刺激の温度、また身体部位に着目した。刺激位置の間隔の実験では 3 点の刺激位置の間隔が狭くなるにつれ、矛盾現象が発生しやすくなる条件があった。刺激の温度に着目した実験では刺激の温度が矛盾現象の発生に影響を与えることを確認した。温覚刺激として強い温度刺激を提示すると、矛盾現象が発生しやすくなる条件があった。身体部位での実験では、これまで対象としていた前腕とふくらはぎ、背中とで、矛盾現象の発生傾向を確認した。結果として、右前腕に加えふくらはぎでも、矛盾現象の発生を確認した。しかし、背中に関しては、温度知覚が安定しないことや 3 箇所への提示が感覚で分かりづらいつらといったコメントから、矛盾現象の発生傾向を分析するには難しい結果となった。

(3) 身体部位を手指における矛盾現象に着目して実験を進めた。まず、手指に温度提示が可能な小型で装着可能な小型ペルチェ素子を使用した提示装置を作成した。この装置を用いて、人差指、中指、薬指の指先のみでの 3 点に提示した場合と、人差指の基節、中節、末節に提示した場合の 2 つの条件で矛盾現象を確認した。両者ともにこの現象は生じるが特に人差指の基節、中節、末節に提示した場合には 8 割程度の確率で発生した。

【参考文献】

- [1] A. Yamamoto, B. Cros, H. Hashimoto, and T. Higuchi: "Control of thermal tactile display based on prediction of contact temperature," Proc. IEEE Int'l Conf. Robotics and Automation (ICRA '04), pp. 1536 - 1541, 2004 .
- [2] R. L. Peiris, W. Peng, Z. Chen, L. Chan, and K. Minamizawa: "ThermoVR: Exploring integrated thermal haptic feedback with head mounted displays," Proc. CHI 2017, pp. 5452 - 5456, 2017 .
- [3] L.E. Williams and J.A. Bargh: " Experiencing physical warmth promotes interpersonal warmth, " *SCIENCE*, Vol. 32 , pp. 606 - 607, 2008 .
- [4] M. Sakaguchi, K. Imai, and K. Hayakawa: "Development of High-Speed thermal display using water flow," Human Interface and the Management of Information. Information and Knowledge Design and Evaluation. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 8521, pp. 233 - 240, 2014.
- [5] K. Sato, and T. Maeno: "Presentation of rapid temperature change using spatially divided hot and cold stimuli," *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 25, No. 3, pp. 497 - 505, 2013.
- [6] B. G. Green: "Localization of thermal sensation: An illusion and synthetic heat," *Perception & Psychophysics*, Vol. 22, No. 4, pp. 331 - 337, 1977.
- [7] J. C. Stevens, and K. K. Choo: "Temperature sensitivity of the body surface over the life span," *Somatosens Mot Res*, Vol. 15, No. 1, pp. 13 - 28, 1998.
- [8] R. Watanabe, R. Okazaki, and H. Kajimoto: "Mutual referral of thermal sensation between two thermal-tactile stimuli," IEEE Haptics Symposium, pp. 299 - 302, 2014.
- [9] 橋口哲志, 新井啓介, 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 ", 第18回力触覚の提示と計算研究会, PI-17-061, pp. 35 - 40, 2017.
- [10] 松田隆夫: " 知覚心理学の基礎 ", 培風館, 2004.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Arai Keisuke, Matsumuro Miki, Hashiguchi Satoshi, Shibata Fumihisa, Kimura Asako	4. 巻 50
2. 論文標題 Hot-Cold Confusion: Inverse Thermal Sensation When Hot and Cold Stimuli Coexist in a Thermal Localization Task	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Perception	6. 最初と最後の頁 508 ~ 523
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/03010066211004055	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hashiguchi Satoshi	4. 巻 33
2. 論文標題 Analysis of Hot-Cold Confusion on Fingers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 1117 ~ 1127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2021.p1117	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 橋口哲志
2. 発表標題 装着型温度刺激の組み合わせが接触物体の温度知覚に与える影響の分析
3. 学会等名 インタラクション2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋口哲志
2. 発表標題 手指での温冷覚誤認現象に関する実験と考察
3. 学会等名 第25回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋口哲志
2. 発表標題 装着型温度提示装置を用いた温度錯覚に関する実験
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会ハプティクス研究委員会第26回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥川夏輝, 橋口哲志, 松室美紀, 柴田史久, 木村朝子
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋口哲志, 羽賀夢馬, 森尚平
2. 発表標題 把持端末に追従するAR追加表示領域の提示位置が重さ知覚に与える影響の分析
3. 学会等名 インタラクシオン2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三津川貴登, 橋口哲志
2. 発表標題 手指における温冷感覚誤認現象の分析 ー装着型温度提示装置の製作とその効果についてー
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋口哲志, 高尾篤史, 中村悠大, 三津川貴登, 南沙弥花
2. 発表標題 温度錯覚を用いたVRコンテンツの検討
3. 学会等名 インタラクシオン2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuta Kataoka, Kaiki Ban, Tsubasa Fujimitsu, Taiki Yamada, Satoshi Hashiguchi, Fumihisa Shibata and Asako Kimura
2. 発表標題 Analysis and evaluation of behavior of R-V Dynamics Illusion in various conditions
3. 学会等名 Proc. the 12th Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Hashiguchi, Shohei Mori, Miho Tanaka, Fumihisa Shibata, and Asako Kimura
2. 発表標題 Perceived weight of a rod under augmented and diminished reality visual effects
3. 学会等名 Proc. the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新井啓介, 橋口哲志, 松室美紀, 柴田史久, 木村朝子
2. 発表標題 温冷覚刺激の複数箇所提示による温冷逆転現象
3. 学会等名 Young Perceptionists' Seminar 2018
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 橋口哲志, 繁樹 博昭, 半田 知也, 伊藤 博隆, 氏家 弘裕, 坂本 雄児, 柴田 隆史, 石場 義久, 奥 寛雅, 川原 慎太郎, 菊田 勇人, 橋本 直己, 岩根 透, 伊達 宗和, 山本 洋太, 下馬場 朋祿, 伊藤 智義, 池田 篤俊, 神田 健介, 野間 春生, 寒川 雅之, 他43名、技術情報協会 (編集)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 576
3. 書名 VR / AR技術における感覚の提示、拡張技術と最新応用事例	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------