

急速な温度変化がもたらす圧覚

渡辺亮^{†1†2}

梶本裕之^{†1†3}

我々は皮膚表面に静的に接触した温度素子から提示する温度を急速に変化した際に触力覚が生起する錯覚現象を発見した。急速に加熱した際には圧覚が、急速に冷却した際には皮膚が温度素子に吸引されるような感覚が生じた。本研究ではこの錯覚現象の性質の解明を目的とする。

Pressure sensation elicited by rapid temperature changes

RYO WATANABE^{†1†2}

HIROYUKI KAJIMOTO^{†1†3}

We found that force or tactile sensation occurred when temperature of thermal stimulus changes rapidly. This study aims to clarify its mechanism and to investigate its nature.

1. はじめに

我々は皮膚表面に静的に接触した温度素子から提示する温度を急速に変化させることで触力覚が生起する錯覚現象を発見した。温度を急速に上昇させた際には掌が押されるような感覚が生起し、急速に下降した際には反対に、掌が吸い込まれるような感覚を生じた。本研究はこの錯覚現象の性質と機序の解明を目的とする。本稿ではこの錯覚現象の生じる割合を被験者実験により検証すると共に、錯覚現象がもたらす感覚を被験者がどのようなものとして解釈したかを観察した。

2. 実験

2.1 実験システム

実験に用いた温度刺激装置を図1に示す。装置はヒートシンクおよび冷却ファン、温度制御用サーミスタ、ペルチェ素子から構成される。サーミスタにより温度を計測し、モータドライバによりペルチェ素子に加える電圧をPID制御することにより、提示温度を制御した。被験者の皮膚に接触する温度刺激提示面は40mm×80mmであった。

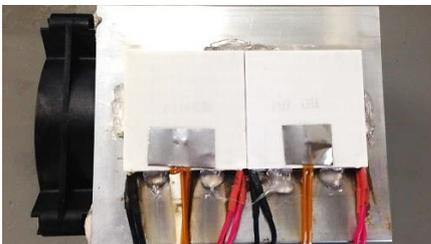


図1 温度刺激提示装置
Figure 1 Thermal stimulator

2.2 実験条件

被験者は男性6名(年齢21~25歳)であり、うち5名は右利き、1名は両利きであった。

実験は室温28℃の環境下で行われた。

温度刺激提示装置から提示された刺激パターンは以下の3条件であった。

- (a) 定常的に37℃を提示
- (b) 定常的に27℃を提示
- (c) 提示温度が27~37℃を周期4秒の正弦波状に変化する37℃、27℃は皮膚表面の温度32℃からそれぞれ5℃の温度差にあり、どちらも皮膚を傷つけない温度である1)。

2.3 実験手順

被験者は全3条件それぞれに対し10試行ずつ、計30試行をランダムな順序で行った。被験者は右手掌部を装置の温度刺激提示面においた状態を30秒間保った。30秒後、装置から右手を離し、温度刺激提示中に右手に上下方向の感覚(上下の移動感や圧覚、力覚)が生じたか否か回答を行った。また、生じた感覚が具体的にどのようなものであったかも回答した。

2.4 実験結果

図2各温度刺激パターンと上下方向の感覚生起率に各条件において被験者が上下方向の感覚が生起したと回答した割合を示す。一定の温度を提示した(a)(b)での回答率は1割前後にとどまるのに対して、(c)では8割弱と非常に高い。Holm法による多重解析の結果、(c)と(a)の間および(c)と(b)の間に5%有意差が認められた。

†1 電気通信大学
The University of Electro-Communications

†2 日本学術振興会特別研究員
Japan Society for the Promotion of Science

†3 科学技術振興機構さきがけ
Japan Science and Technology Agency

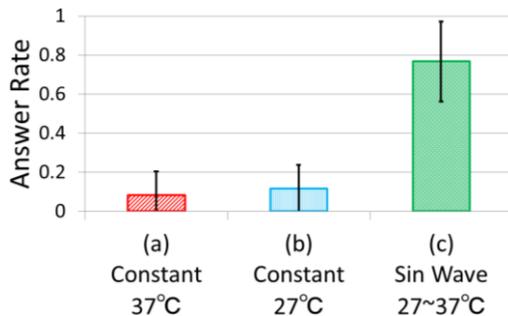


図 2 各温度刺激パターンと上下方向の感覚生起率
Figure 2 Occurrence of vertical sensation

生じた感覚についての内観報告は様々であり、被験者ごとに大きく異なる場合もあった。すべての被験者は刺激温度の上昇時に上方向（すなわち掌を押し側）の、下降時に下方向の感覚を生じたと回答したが、うち1名の被験者は試行によってこの温度と感覚の方向が逆転することがあったと回答した。内観報告はほかに、以下の様なものがあった。掌を装置に置いてから上下方向の感覚を生じるまでにある程度時間がかかった。

- 温度の上昇、下降と同期して刺激提示面が上下動したように感じた。
- 温度が下降する際に、掌が下方向に吸い込まれる感覚があった。
- 温度が上昇する際に刺激提示面が隆起し、下降時には平らになる感覚があった。
- 温度が変化する際にひりひりする感覚があった。

3. 考察

実験結果から、刺激温度を上下させることで上下方向に何らかの触力覚が生じているといえる。このような感覚が生じる機序については今後検証する予定だが、その仮説のひとつとして、皮膚と物体が接触する際に起こる急速な温度変化が触力覚を生む可能性を挙げる。異なる温度の皮膚と物体が接触した際には、それぞれの接触面に急速な温度変化が生じ、温度が釣り合う。つまり(c)の条件で繰り返された急速な温度変化は、人間がものを触った際につきものの感覚の1つである。これにより実際には掌と素子は静的に接触しているにもかかわらず、急速な温度変化のたびに、あたたかも動的に素子に接触したかのような感覚を得た可能性が考えられる。先行研究として温度の高い水蒸気に掌をかざし、動かした際に圧覚を生起するという報告も存在する2)。

これに関連して、材質感の変調が起きた可能性も挙げられる。皮膚と物体が接触した際に起こる急速な温度変化が物体の材質を判別するための大きな要因となることが知られており、手指と接触する際の温度素子の表面温度を制御す

ることにより、異なる材質の物体と接触した感覚(材質感)を再現した例もある3)。本稿の実験では、触力覚を生じた(c)の条件では絶えず温度が変化し続けていた。この絶え間ない温度の変化が、温度素子表面の材質感を変化させ続け、触力覚として知覚された可能性は否定できない。

また、温度変化時にひりひりする感覚を訴えた被験者がいた。これは温度錯覚 Thermal Grill Illusion に特有の感覚の1つである。Thermal Grill Illusion (略称 TGI) は Synthetic Heat (略称 SH) の別名でも知られ、温刺激と冷刺激を皮膚上の近傍へ同時に提示した際に知覚される温度が、温刺激のみを提示した際の知覚温度よりも高くなるという錯覚現象ある4)。TGIは時として痛覚や灼熱感、ひりひりした感覚を生じることが報告されている5)6)。通常TGIは温冷刺激が同時に提示された場合に生起するとされるが、温冷刺激を時間差をもって交互に提示した場合にも生起したという報告もある7)。今回の実験でも刺激温度の上昇、下降を繰り返した結果、TGIが生起した可能性がある。

4. おわりに

皮膚表面に静的に接触した温度素子から提示する温度を上下することで、何らかの上下方向の触力覚が生起することを被験者実験により確認した。生じた感覚は被験者の間でも解釈が分かれ、上下に移動する感覚や、下方に吸い込まれる感覚等が生じた。今後はこの現象により生じる感覚を定量化すべく、実際の上下動や力覚提示との比較検証を行う。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 26・11748 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) ISO13732-1: Ergonomics of The Thermal Environment-Methods for The Assessment of Human Responses to Contact with Surfaces (Part1: Hot Surfaces), 2006.
- 2) Kai, T., Kojima, Y., Hashimoto, Y., Kajimoto, H., "Mechanism of Pressure Sensation Generated by Hot Steam", ISVRI, 2011.
- 3) Yamamoto, A., Yamamoto, H., Cros, B., Hashimoto, H., and Higuchi, T., "Thermal Tactile Presentation Based on Prediction of Contact Temperature", Journal of Robotics and Mechatronics Vol.18 No.3, 2006.
- 4) Green, B. G., "Synthetic heat at mild temperatures." *Somatosensory & motor research*, 19(2), pp. 130-138, 2002.
- 5) Craig, A. D., and M. C. Bushnell. "The thermal grill illusion: unmasking the burn of cold pain." *Science*, Vol. 265, pp. 252-255, 1994.
- 6) Bach, P., Becker, S., Kleinböhl, D., & Hölzl, R. "The thermal grill illusion and what is painful about it." *Neuroscience letters*, 505(1), pp. 31-35, 2011.
- 7) Watanabe, R., Saito, N., Mori, Y., Hachisu, T., Sato, M., Fukushima, S., and Kajimoto, H., "Evaluation of roller-type itch-relief device employing hot and cold alternating stimuli," *ACM CHI Extended Abstracts*, 2013.