

温度変化による触力覚の生起現象

○渡辺 亮 1) 2), 梶本 裕之 1) 3)

1) 電気通信大学 2) 日本学術振興会特別研究員 3) 科学技術振興機構さきがけ

Haptic sensation elicited by temperature changes

○Ryo WATANABE 1) 2) and Hiroyuki KAJIMOTO 1) 3)

1) The University of Electro-Communications

2) Japan Society for the Promotion of Science

3) Japan Science and Technology Agency

Abstract: We found that haptic sensation, typically a pressure sensation occurred when temperature of thermal elements touched by palm skin changes rapidly. This study aims to clarify its mechanism. In this paper, we conducted an experiment to verify contribution of involuntary hand movement to this illusion. Result of the experiment suggested that hand movement dose not contribute to this illusion.

1. はじめに

我々は温度変化を皮膚表面へ提示した際に触力覚や移動感が生起する錯覚現象を発見した[1]. 本研究はこの錯覚現象の性質, 機序の解明を目的とする. これまでの手掌部で行った実験の結果, 提示温度を上昇させた際に上方向の圧覚や素子が膨張するような感覚が, 下降させた際には反対に皮膚が素子に吸引されるような感覚が生じることが示唆された[1].

この現象の機序を考察するにあたり, 被験者が提示温度の上昇, 下降に合わせ無意識に手を上下に動かした可能性を検討する必要がある. 温度が上昇する際に危機回避等を目的に手をわずかに持ち上げ, 温度が平常に戻るにつれ手をもとの位置に下げるといった動作が行われた結果として圧覚や力覚, 移動感が生じているのではないかと推測されるためである. 本稿では温度刺激提示中に被験者の手掌部が刺激装置にかける力の推移が温度刺激のパタンによってどのように変化するか検証を行った.

2. 実験

2.1. 実験システム

実験に用いた温度刺激装置を Fig. 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, 圧力センサから構成される. 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. 装置を支える 4 本の足

の底面に圧力センサを配置し, 装置にかかる力を計測する.

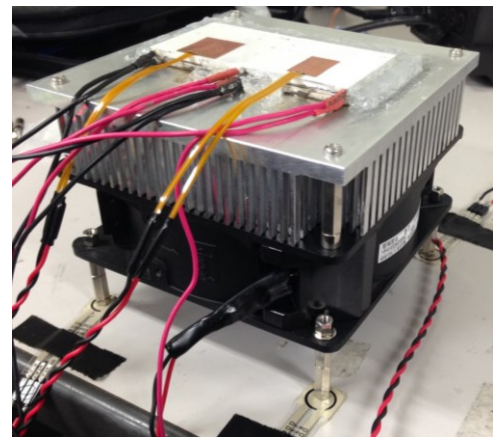


Fig. 1 Temperature stimulator

2.2. 実験条件

被験者は男性 6 名 (年齢 21~25 歳) であった.

実験は室温 28°C の室内で行われた.

温度刺激提示装置から提示された刺激パタンは以下の 3 条件であった.

(a) 定常的に 32°C を提示

(b) 提示温度が 27~37°C を周期 4 秒の正弦波状に遷移

(c) 提示温度が 37~47°C を周期 4 秒の正弦波状に遷移

37°C, 27°C は皮膚表面の温度 32°C からそれぞれ 5°C の温度差にあり, どちらも痛みを生じる温度 42°C 以下である. 一方で, (c) では提示温度が 42°C を上回る時間が 5 割ある. (c) では痛みが生じるため, 危険回避的のためにより大きく手を上に動かすことが予想された. またこの時, 冒頭に述べた仮説から, 生じる錯覚が大きく

なることが予想された。

2.3. 実験手続

被験者は全 3 条件それぞれに対し 1 試行ずつ、計 3 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。この間の温度、圧力の遷移を記録した。刺激提示後、被験者は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。

2.4. 実験結果

Fig. 2 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)では生起率は 0 であった。対して、(b)では 8 割強、(c)では 6 割弱の生起率であった。また、(c)条件下で感覚が生起したと回答した被験者のすべてが温度上昇時に上方向の感覚が生起したが、温度下降時には上下方向の感覚は生起しなかったことを報告した。

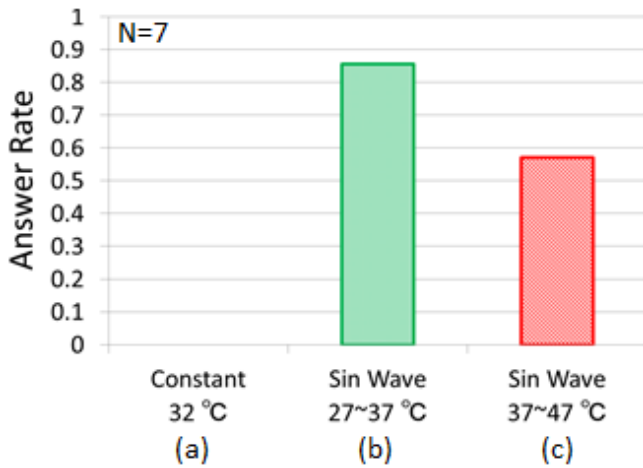


Fig. 2 incidence rate of vertical sensation

以下 Fig. 3, Fig. 5, Fig. 7 に(a)(b)(c)各条件下で計測された温度、圧力値の推移を示す。また(b)(c)条件下では、30 秒の刺激提示時間の中で周期 4 秒の提示温度変化が 7.5 周行われる。Fig. 4, Fig. 6, Fig. 8 には第 3~7 周を加算平均したものを示す ((a)も同様に周期 4 秒の波とみなして同様の加算平均処理を行った)。

Fig. 3, Fig. 4 に(a)条件下の計測結果を示す。Fig. 4 における圧力値の最大値と最小値の差は 0.12 N であった。

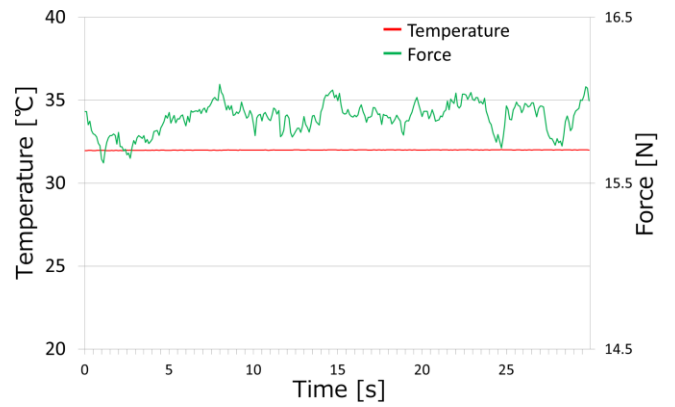


Fig. 3 Transition of temperature and Force in condition

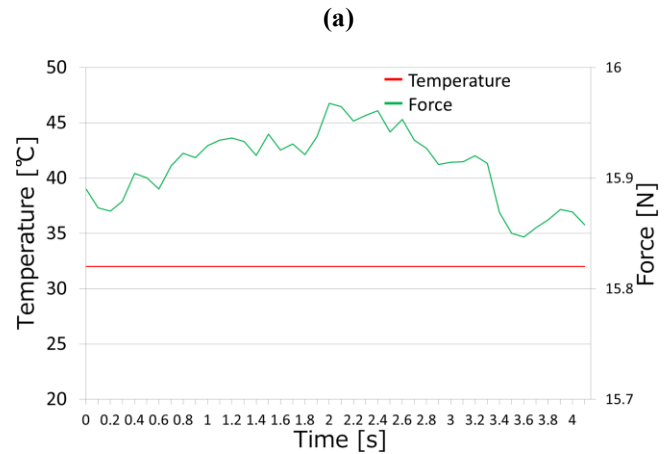


Fig. 4 Averaged signal in condition (a)

Fig. 5, Fig. 6 に(b)条件下で計測された温度、圧力値の推移を示す。温度上昇時に圧力も増大し、温度下降時に圧力も減少したことがわかる。Fig. 6 における圧力値の最大値と最小値の差は 0.24 N であった。

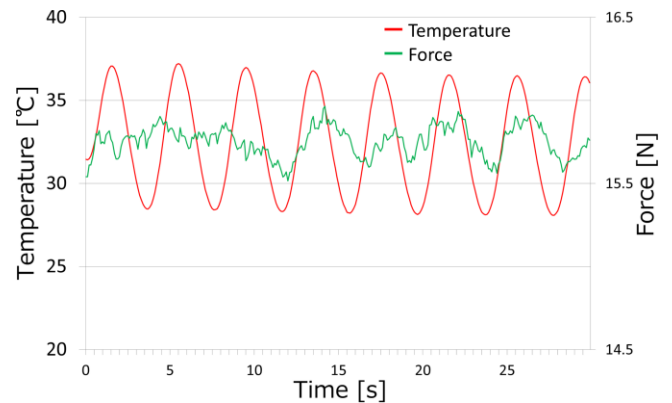


Fig. 5 Transition of temperature and Force in condition

(b)

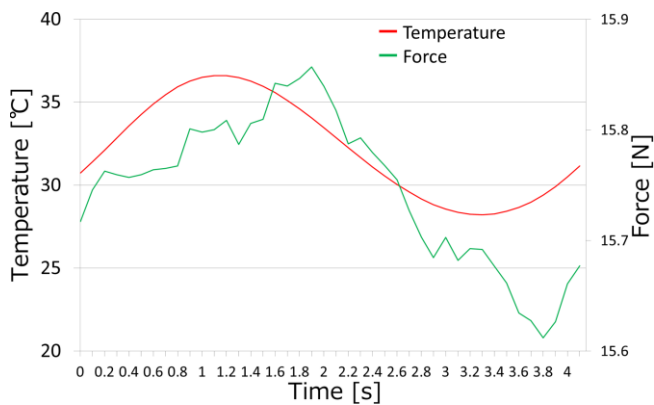


Fig. 6 Averaged signal in condition (b)

Fig. 7, Fig. 8に(c)条件下で計測された温度, 圧力値の推移を示す. (b)条件とは反対に温度上昇時に圧力は減少し, 温度下降時に圧力は増大したことがわかる. Fig. 8における圧力値の最大値と最小値の差は0.21 Nであった.

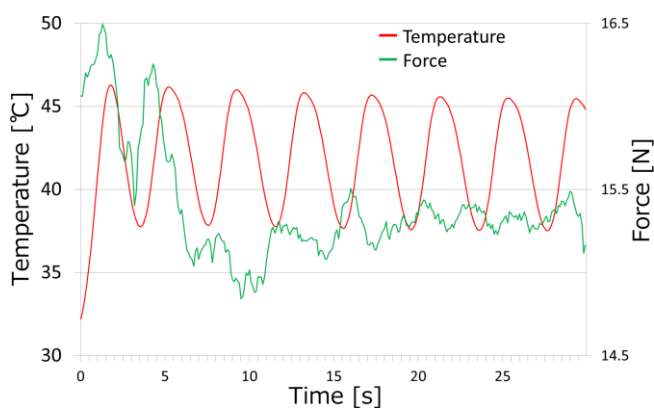


Fig. 7 Transition of temperature and Force in condition (c)

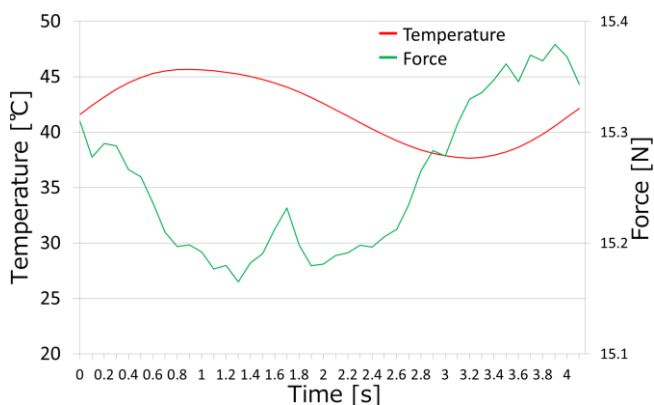


Fig. 8 Averaged signal in condition (c)

3. 考察

我々は当初, 刺激温度上昇時に被験者がわずかに手

を持ち上げ, 圧力値が減少することを予想した. 刺激温度が 27~37°C間で遷移した(c)条件下では事前の予想通り, 温度上昇時に圧力値が減少したが, 27~37°C間で遷移した(b)条件下では反対に, 温度上昇時に圧力値が増大した. 内観報告から, 刺激温度に対する圧力値の遷移の位相は正反対であるにもかかわらず, 温度上昇時に上方向の感覚を生じるという点は共通していた. 正反対の動きに対して同種の感覚が生じたことは, 感覚の生起に手の動きが影響しないことを示唆している. また, 温度の遷移に対する位相は正反対ながら, 圧力値の遷移の幅は同程度であった ((b): 0.24 N, (c): 0.21N). 圧力値の遷移によって上下方向の感覚が生起するのであれば, (b)(c)両条件下では同様の感覚が生起するはずである. しかし(b)条件下で上下両方向の感覚の生起が報告されたのに対して, (c)条件では上方向の感覚のみが報告された. このことも上下方向の感覚が手の動きによるものでないことを示唆する.

以上から, 手の動きが原因でないことが示唆されたが, そのほかの仮説のひとつとして, 皮膚と物体が接触する際の温度変化が触力覚を生む可能性が考えられる. 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温度変化が生じ, やがて温度が釣り合う. この接触時の温度変化が質感の知覚に関わることが知られており, 温度変化の速度の変調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[2]. 人間がものを触った際につきものの感覚の1つである温度変化が提示されることにより, 実際には静的に接触しているにもかかわらず, あたかも動的に接触したかのような感覚を得た可能性が考えられる.

また, 皮膚の温度が触覚受容器の感覚閾値に影響を与えることも知られている[3]. 温度変化の際に閾値が低下し, 触覚が生じた可能性も考えられる. さらに先行研究には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し, 本研究と関連する可能性がある[4].

4. おわりに

本稿では, 温度変化を皮膚表面へ提示した際に触力覚や移動感が生起する錯覚現象の機序について検証を行った. 手掌部への刺激温度の上昇, 下降に合わせ, 無意識に手が上下に動くという仮説のもと, 手が装置にかける圧力を計測した. その結果, 温度変化により手の動きが誘発される可能性はあるが, それが触力覚生起の原因ではないことが示唆された. 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] 渡辺, 梶本, 急速な温度変化による圧覚の生起, 第 19 回バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2014.
- [2] 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.
- [3] 宮岡, 間野, 皮膚機械受容単位感度の温度依存性, 名古屋大学環境医学研究所年報, vol. 48, pp. 173-175, 1997.
- [4] Kai, T., Kojima, Y., Hashimoto, Y., Kajimoto, H., "Mechanism of Pressure Sensation Generated by Hot Steam", ISVRI, 2011.