

## 温度錯覚を用いた地面の傾きの表現

渡辺亮<sup>†1†2</sup> 梶本裕之<sup>†1</sup>

我々は皮膚表面に温度変化を提示することで上下方向の移動感や触力覚を生じる錯覚現象を発見し、その性質を研究してきた。本現象では温度上昇時に上方向の移動感や膨張感を、温度下降時に下方向の移動感や吸引感を生じる。我々はこの錯覚現象を利用し、直立した人間の左右それぞれの足裏に逆方向の移動感を提示することで段差や地面の傾きを表現できると考えた。本稿では足裏に温度変化を提示する装置を開発し、刺激温度の変化が生起する感覚や姿勢にどのように影響するのか検証した。

## Representing ground slope by thermo-tactile illusion

RYO WATANABE<sup>†1†2</sup> HIROYUKI KAJIMOTO<sup>†1</sup>

We have found that vertical force or tactile sensation occurred when temperature of subject's skin changes rapidly. In this illusion, upward motion, pressure or force sensation is elicited when stimulus temperature rises rapidly whereas in the opposite case, downward motion or pulling sensation is elicited. In this paper, we propose to apply this phenomenon to sole to present ground slope. In this paper, we show the development of thermal stimulation device and measured result of stabilogram and subjective sensation when stimulation temperature changes.

### 1. はじめに

我々は皮膚表面に温度変化を提示することで上下方向の移動感や触力覚を生じる錯覚現象を発見した[1]。これまでの研究から、本現象では温度上昇時に上方向（温度提示面から離れる方向）の移動感や膨張感を、温度下降時に下方向（温度提示面に吸着する方向）の移動感や吸引感を生じる場合が最も多く確認された。逆方向の知覚例も少数存在したが、刺激温度の温冷切り替えによって生起する感覚の方向が上下逆になることは共通であった。

我々はこの錯覚現象を利用し、直立した人間の足裏に提示することで地面の傾きや揺れを表現できるのではないかと考えた。つまり一方の足に上方向の、もう一方の足に下方向の錯覚を生起させることで左右の足場の間に段差がある、または足場が斜めに傾いているような感覚が生起され、さらに左右の足に提示する錯覚の方向を連続的に入れ替えることで、足場がシーソーのように揺れるような感覚が生起されるのではないかと考えた。また、この手法により傾き、揺れの感覚が提示できる場合、それが純粹に感覚的な姿勢の錯覚として生じるものか、それともまず実際の身体動揺が誘発されたことによるものであるのか、本錯覚現象のメカニズム解明につながると考えた。

本稿では足裏への刺激温度を制御可能な装置を開発し、刺激温度の変化時の重心動揺を計測するとともに主観的に生起する感覚についても検証した。

### 2. 実験

#### 2.1 システム

実験に用いたシステムを図 1 に示す。システムは 2 台の温度刺激提示装置と、重心動揺計(バランス Wii ボード[2])から構成される。温度刺激提示装置はペルチェ素子 (TEC1-12730) およびヒートシンク、冷却ファン、フィルム状サーミスタから構成される。被験者の皮膚に接触するペルチェ素子表面の温度はサーミスタにより計測され、モータードライバによって PID 制御された。重心動揺計により計測されたデータ (サンプリング周波数 100Hz) はバランス Wii ボード用プログラム FitTri により重心座標データに変換された。



図 1 実験システム

#### 2.2 手続き

実験に参加した被験者は 40 名 (男性 36 名, 女性 4 名) であった。実験は約 28°C の室内で行われた。被験者は裸足で左右それぞれの温度刺激提示装置の上に足を乗せ、閉眼状態で両腕を横に垂らし、脱力したまま一分間立位を保つ

†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  
JSPS Research Fellow

た。このとき、被験者の両脚は約 15cm に開かれていた。1 分間のうち、前半の 30 秒では刺激温度が 32℃に保たれ、後半の 30 秒では刺激温度が周期 5 秒の正弦波状に 25～35℃間を遷移した。左右の装置間で刺激温度の変化パターンは半周期の位相差をもって提示され、一方の装置の刺激温度が上昇している際には、もう一方の装置の刺激温度は下降する。被験者は実験終了後、体の揺れ（重心の動揺）および足裏に上下方向の触力覚を知覚したかどうか回答した。実験は被験者 1 人につき 1 回のみ行った。

### 2.3 結果

総被験者数の 62.5%にあたる 25 名の被験者が重心の動揺、足裏に上下方向の触力覚をとともに知覚したことを報告した。この 25 名は「足場が交互に上下するよう」「冷やされた側の足が沈み込む感覚」「足踏みをさせられている感じ」等の具体的な解釈を報告したほか、触力覚の生起に伴い体が動揺するように知覚したことを報告した。

刺激温度変化がもたらす触錯、体の揺れの知覚が重心動揺へ与える影響を検証するため、被験者ごとに刺激温度が変化している際の重心動揺と刺激温度が一定の際の重心動揺の比、すなわち（計測開始 30 秒後から 60 秒後までの重心移動距離） / （計測開始後 30 秒後までの重心移動距離）を算出した。触錯、揺れの知覚の有無によって分けた 2 群それぞれについての平均値、およびその被験者の体に対する左右、前後 2 軸方向の成分を図 2 に示す。

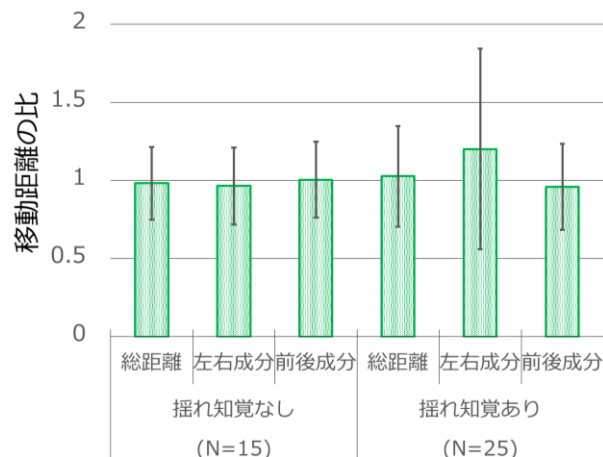


図 2 刺激温度の変化の有無による重心移動距離の比

図 2 から、刺激温度の変化の有無が総重心移動距離およびその前後成分に与える影響はみられない。重心移動距離の左右成分について着目すると、足裏での触錯および重心動揺を知覚した被験者群では刺激温度の変化の有無による重心移動距離の比が 1.20 と他の条件に対して比較的高い値を示した。ただし t 検定の結果は  $p = 0.127$  であり、有意差は確認できなかった。

### 3. 考察

図 2 から錯覚を生じていた場合と生じていなかった場合で、左右方向の重心動揺が大きくなる傾向が若干観察されるものの有意差は持たなかった。（改行）

一方で足裏に触錯、重心動揺を知覚したある被験者は、「知覚した左右方向の重心の動揺があまりに大きいために倒れそうに感じ、姿勢を直立に戻すべく、半ば不可抗力的に知覚した揺れと対抗するように自ら体を揺らさざるを得なかった」と報告した。また刺激温度の変化により左右方向の重心動揺が大きくなる被験者がいる一方で、大きな揺れを知覚、報告していながら実際の重心動揺は変化しない、ないし小さくなる被験者も多く存在した。これらの内観報告および観察結果は、まず揺れ、姿勢の傾きが実際の重心動揺とは関係なく知覚され、それに対する行動として体を揺らす被験者と揺らさない被験者がいたと推測される。つまり、温度変化による触錯、移動感覚は、純粋な姿勢の錯誤として生じ、必ずしも実際の姿勢変化を誘発するものではないことが示唆された。

### 4. おわりに

皮膚表面に温度変化を提示することで上下方向の移動感や触力覚を生じる錯覚現象を利用し、直立した人間の左右それぞれの足裏に逆方向の移動感を提示することで足場の段差や傾きを表現することを試みた。検証の結果、刺激温度の変化時には体や足場の揺れ、傾きの感覚が報告されたが、必ずしも重心の動揺が見られないことから、純粋に感覚的な姿勢の錯誤が生じていることが示唆された。

### 参考文献

- [1] R. Watanabe, H. Kajimoto: Pressure sensation elicited by rapid temperature changes . Asia Haptics 2014, November 18-20, 2014, Tsukuba, Japan.
- [2] Wii Fit Plus  
<http://www.nintendo.co.jp/wii/rfpj/index.html>
- [3] FitTri  
<http://www.eonet.ne.jp/~rpt/>