

## 蒸気による圧覚発生要因の検討

甲斐 卓弥<sup>\*1</sup> 小島 雄一郎<sup>\*1</sup> 橋本 悠希<sup>\*2</sup> 梶本 裕之<sup>\*1\*3</sup>

### Investigation of Pressure Sensation Generated by Steam

Takuya Kai<sup>\*1</sup>, Yuichiro Kojima<sup>\*1</sup>, Yuki Hashimoto<sup>\*2</sup> and Hiroyuki Kajimoto<sup>\*1\*3</sup>

**Abstract ---** When a hand is held above boiling water, a sensation of pressure is sometimes experienced in addition to the expected thermal sensation. The underlying cause of this phenomenon is currently unclear. Potential candidates for the causal mechanism of this experience include steam, temperature, humidity and tactile receptor activity. In this paper we investigated the underlying mechanism of this novel non-contact tactile experience. To this end, we tested separate aspects of this experience independently. Our results suggest that stimulation of Merkel cells via sweat duct expansion is the principal cause this perceptual phenomenon.

**Keywords:** Steam, Pressure Sensation, Sweat Gland, Merkel Cell.

### 1 はじめに

医療、福祉、ロボティクス、バーチャルリアリティなどの分野において、作業支援や情報提示を目的として様々な触覚ディスプレイが開発されてきた[1][2][3]。しかし従来の触覚ディスプレイはディスプレイと皮膚が接触しなければ触覚を提示することが出来ず、ユーザの行動を大きく制限してしまう問題があった。

この問題に対し、デバイスと皮膚を接触させずに触覚を提示する方法として様々な非接触型の触覚提示手法が提案されてきた。星ら[4]は超音波を皮膚上で収束させることにより空中での触覚提示を可能とした。また橋本ら[5]は微風による触感生成を検討している。しかしそれぞれの手法は提示装置の大きさやエネルギーコストの課題が残る。

我々は水を沸騰させた際に発生する蒸気へゆっくりと手を出し入れた際、時に温度感覚とは別に指が柔らかいもので持ち上げられるような圧覚が生じる現象を発見し、「蒸気圧覚」と名付けた(図 1)。この蒸気圧覚現象は、簡便な非接触型の触覚提示手法として応用できる可能性がある。

しかし現在のところ、この現象は常に生じるわけではなく、また生じた場合も発生位置が指先に集中する傾向がある。本論文は蒸気圧覚の発生要因を解明することを目的とする。

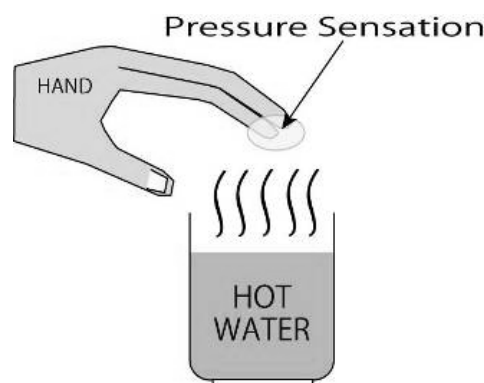


図1 提案手法 蒸気による圧覚知覚

Fig.1 Proposal: Pressure sensation with steam

### 2 蒸気圧覚発生原因の検討

#### 2.1 予備実験:各単独要素の検討

蒸気圧覚の原因として、まず蒸気そのものによる実際の圧力変化が考えられる。しかし圧力センサ(PSM-005KPGW, Fujikura Ltd.)を用いた計測の結果、蒸気圧覚を生じている最中に人間の知覚閾を超えるレベルの圧力変化は確認できなかった。

実際の圧力変化が要因でないとすれば、蒸気の要素である「熱」と「水蒸気」のいずれか、または複合的作用によって蒸気圧覚が発生したと考えられる。

そこで熱単体が圧覚に起因しているかどうか検証を行った。遠赤外ヒーターに手をかざすことで圧覚が生じるか検証したところ、蒸気圧覚を生じる場合よりもはるかに熱く感じる場合も圧覚を生じることはなかった。Stevensら[6]の知見によれば、温度上昇に伴って圧覚閾値は上昇する。つまり温度上昇はむしろ圧覚を生じにくくさせる作用がある。この知見と合わせて考えると、

\*1 電気通信大学 人間コミュニケーション学科

\*2 大阪大学大学院情報科学研究科特任研究員

\*3 独立行政法人 科学技術振興機構

\*1 The University of Electro-Communications

\*2 Osaka University

\*3 Japan Science and Technology Agency

熱そのものによって圧覚受容器が活動したとは考えにくい。

次に、水蒸気単体が圧覚の発生要因であるかどうかの検証を行った。超音波式加湿器から発生する水蒸気に手をかざすことで圧覚が生じるか検証したところ、圧覚は生じなかった。

以上の観察により、蒸気圧覚発生時には実際の圧力変動はなく、また熱単体あるいは水蒸気単体でも圧覚が生じないことから、蒸気圧覚の発生要因は水蒸気と熱の複合的な作用であると考えられる。

## 2.2 温覚と湿度に関する検討

蒸気圧覚が水蒸気と熱の複合的な作用に起因するものとして、熱は温度感覚受容器を活動させることが本質なのか、また水蒸気に含まれる水分が本質なのかを判断するため、蒸気に手をかざす前の手の状態を変化させる事によって蒸気圧覚に変化が生じるか実験によって検証した。

### 2.2.1 実験条件 手掌部の状態変化

次の2つの実験条件を用意した。いずれの条件も左右の手の条件を逆にして同様の実験を行った。

蒸気圧覚における温覚の寄与を検証するため、温覚を恒常的に刺激した状態で検証を行った。指と手掌部全体に予めカプサイシンを塗布しておくことで温覚が生じている状態とした。実験で使用したカプサイシンは市販のトウガラシ 10g に対し無水エタノール 10ml を加え、攪拌し濾過を行なって抽出したものをを使用した。蒸気圧覚に温覚が関与しているのであれば、カプサイシンを塗布することで温覚が飽和し、蒸気圧覚が弱まると予想される。

水分変化の寄与を検証するため、手の水分を除去させた状態で検証を行った。無水エタノールを塗布し、手の水分を蒸発させた。急激な水分変化が圧覚発生要因であるのなら、無水エタノールをあらかじめ塗布することで、さらなる急激な水分変化となり、蒸気圧覚が強まることが予想される。

被験者の選定には蒸気圧覚で生じる圧覚がどのような圧覚かを事前に説明した上で、蒸気への手の出し入れを 30 分間繰り返し、圧覚を生じた人を被験者とした。圧覚を生じた被験者 5 人(男性 4 名女性 1 名, 21~23 歳)に対して実験を行った。

#### (1) 温覚を恒常的に刺激した状態における実験

一方の手に温覚刺激用のカプサイシンを塗布し、もう一方には何も塗布せずに、左右両方の手の圧覚の感じ方の変化を比較させた。

#### (2) 水分除去状態における実験

一方の手に水分除去のため無水エタノールを塗布し、乾燥し、手の温度が回復するまで待った。もう一方には何も塗布せずに、左右両方の手の圧覚の感じ方の変化

を比較させた。

### 2.2.2 結果

実験結果を表 1 に示す。各実験による感じ方の変化の有無を表にしたものである。変化ありという回答を「Yes」、変化なしを「No」とした。

温覚付与による知覚変化はなかった。手の水分を除去することにより圧覚が強まったという回答や、圧覚を感じる位置が鮮明になったという回答を得た。

表1 実験結果

Table 1 Results

		被験者				
		A	B	C	D	E
実験項目	温覚刺激	No	No	No	No	No
	水分除去	Yes	No	Yes	Yes	Yes

実験結果より、温度感覚は蒸気圧覚の直接的な原因ではないこと、また皮膚の乾燥が影響していることが確認された。

手の水分含有率の変化が蒸気圧覚発生に影響したことから、蒸気圧覚の発生原因として水分を調整する汗の影響が考えられる。

## 3 仮説:汗腺の影響

汗は汗腺から分泌されるが、解剖学的な特徴として汗の通り道である汗管の側に圧力を知覚する受容器、メルケル盤が分布していることが知られている[7](図 2)。

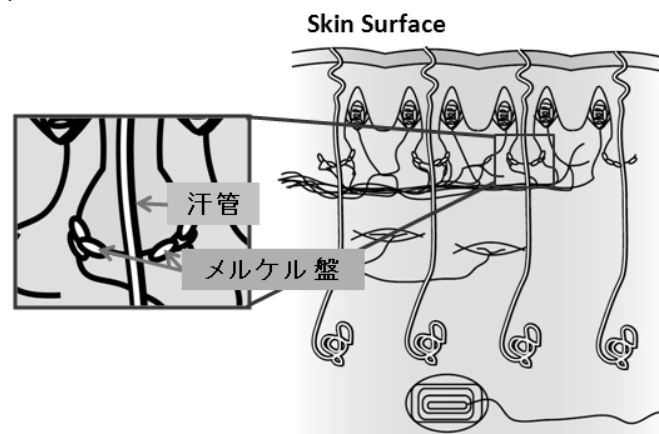


図2 汗管とメルケル盤の位置関係

Fig.2 Position of Sweat Duct and Merkel cell

メルケル盤と汗管の位置関係から、熱を持った蒸気の侵入により汗管が熱膨張することで、メルケル盤が刺激され、圧覚が生じたと推測される。遠赤外ヒーターによる温度刺激で圧覚が生じなかった理由としては、熱伝達率の差が考えられる。蒸気は他の熱媒体と違い、高い熱伝達率を持っている[8]。遠赤外ヒーターによる温度変化では汗管膨張の時間変化率は低いが、蒸気では瞬間的に膨大な熱を提示することができたため、メル

ケル盤に影響を与える急激な汗管膨張が生じ、圧力として知覚されたと考えられる。手掌部に無水エタノールを塗布することにより蒸気圧覚の知覚率が向上した原因も、汗管に溜まっていた汗が取り除かれ蒸気が入り込みやすく、すなわち熱が伝わりやすくなったことで圧覚が強まったためと考えられる。

#### 4 汗腺の影響の有無の検証

本実験では蒸気圧覚発生要因に汗腺が影響しているかどうかを検証するため、蒸気に手をかざす前の汗腺の状態を変化させる事によって蒸気圧覚発生閾値に変化が生じるか実験を行った。実験は被験者3人(男性3名, 21~23歳)に対して行った。

##### 4.1 実験条件 汗腺の状態変化

次の3つの実験条件を用意した。いずれの条件も左右の手の条件を逆にして同様の実験を行った。

###### (1) 発汗の抑制

発汗を抑制する成分、クロロヒドロキシアルミニウムが含まれている制汗スプレー(ギャツビーデオドラントパウダースプレー, 株式会社マンダム)を使用した。一方の手に制汗スプレーを塗布し、もう一方には何も塗布せず、左右両方の手の蒸気圧覚の感じ方の変化を比較させた。

###### (2) 発汗の促進

一方の手を密閉した箱に入れ、ヒーターを用いて箱内の温度を上昇させ、手を間接的に15分温めることであらかじめ汗を発生させた状態とし、もう一方の手には何も変化させない状態で、左右両方の手の蒸気圧覚の感じ方の変化を比較させた。

###### (3) 水分付加

水分を集める作用がある尿素を用いた。一方の手に尿素軟膏(ケラチナミン20%尿素配合クリーム, 興和株式会社)を塗り、もう一方には何もせずに、左右両方の手の圧覚の感じ方の変化を比較させた。

##### 4.2 結果

被験者3名中2名で発汗を抑制した状態(条件1)では圧覚が鮮明になり、発汗時(条件2)には圧覚の像が不明瞭になった。また尿素軟膏を塗った状態(条件3)では被験者3名とも圧力を感じる事が出来なかった。条件3の場合は軟膏そのもので汗腺が塞がった可能性も考えられるが、いずれにせよこれら結果から、蒸気圧覚現象には汗腺が影響していることが確認された。

#### 5 考察 定常的な蒸気圧覚を生じない原因

以上の実験により、蒸気圧覚と汗腺の関係がほぼ明らかとなった。ここではさらに蒸気圧覚の特徴に関する考察を行う。

蒸気圧覚の実験全体を通じて、手をかざす速度によ

って蒸気圧覚現象の発生しやすさが変化することが観察された。実際、被験者のトレーニングに際して最も必要な教示は手を動かす速度であった。

動きが速すぎる場合は熱伝導が不十分であると思われるが、動きが遅い、ないし静止している場合、圧覚本来の性質としては感覚を生じ続けるはずである。しかし実際には、手を静止させると蒸気圧覚は完全に消失した。

この原因としては皮膚内の熱伝導が考えられる。蒸気の熱による急速な温度変化により、まず汗管が熱膨張する。しかしその後すぐに皮膚内部の熱伝導により皮膚温度が上昇する。

すると第一に、熱による局所的な歪自体は元に戻ってしまうと考えられる。第二に温度の上昇により圧覚を担当するメルケル細胞の活動閾値が上昇すると考えられる[6]。この二つの作用により、定常的な蒸気圧覚を知覚できなかつたと考えられる。

#### 6 むすび

本論文では非接触触覚提示手法として蒸気による圧覚提示を目的とし、発生要因を検討した。実験結果より、蒸気圧覚の要因としては汗腺の影響が考えられることが確認された。今後は蒸気圧覚を利用した非接触型の触覚ディスプレイを制作する。

#### 参考文献

- [1] 昆陽雅司, 田所論, 高森年: 高分子ゲルアクチュエータを用いた触覚ディスプレイの研究. 日本バーチャルリアリティ学会第五回大会論文集, pp.311-314, 2000.
- [2] Nojima T., Sekiguchi D., Inami M. and Tachi S.: The smarttool: A system for augmented reality of haptics. In Proc. IEEE VR'2002, pp. 67-72, 2002.
- [3] 梶本, 稲見, 川上, 舘: 電気触覚を用いた皮膚感覚のオーグメンティドリアリティ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 8, No. 3, pp. 339-348, 2003.
- [4] Hoshi T., Iwamoto T., Shinoda H.: Non-contact Tactile Sensation Synthesized by Ultrasound Transducers, Proc. World Haptics, pp. 256-260, 2009.
- [5] 橋本, 今枝: 人間の指先における微風の知覚特性に関する研究, 電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, Vol. 106, No. 91 pp. 35-40, 2006.
- [6] Stevens JC, Foulke E and Patterson MQ: Tactile acuity, aging, and braille reading in long-term blindness. Journal of Experimental Psychology: Applied, 2(2):91-106, 1996.
- [7] 大山, 今井, 和気: 新編感覚・知覚心理学ハンドブック, 誠信書房, pp.1178-1237, (1994).
- [8] 日本熱物性学会: 新編熱物性ハンドブック, 養

賢堂, pp.64-75, (2008).

(2010年3月24日受付)

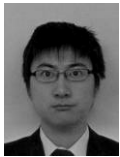
[著者紹介]

甲斐 卓弥 (非会員)



2010年電気通信大学人間コミュニケーション学科卒業。触覚ディスプレイに関する研究に従事。

小島 雄一郎 (非会員)



2010年電気通信大学大学院電気通信学研究科人間コミュニケーション学専攻修了, 同年株式会社タイター, 現在に至る。

橋本 悠希 (学生会員)



2007年3月電気通信大学大学院知能機械工学専攻博士前期課程修了。2010年3月同大学大学院人間コミュニケーション学専攻博士後期課程終了。博士(工学)。2007年日本学術振興会特別研究員(DC1)。現在, 大阪大学大学院情報科学研究科特任研究員。触覚ディスプレイ及び触覚コンテンツに関する研究に従事。日本バーチャルリアリティ学会会員。

梶本 裕之 (正会員)



1998年3月東京大学工学部計数工学科卒業。2003年3月同大学大学院情報理工学系研究科システム情報学専攻博士課程退学。博士(情報理工学)。2001年4月日本学術振興会特別研究員(DC1)。2003年4月東京大学助手。2006年9月電気通信大学助教授。2007年4月同准教授。触覚ディスプレイ, 触覚センサ, バーチャルリアリティシステムなどの研究開発に従事。日本バーチャルリアリティ学会, 日本ロボット学会, 計測自動制御学会各会員。