

Wet Referral : 湿り感の指間参照現象の検討

柴原, 舞
奈良女子大学

渡邊, 淳司
NTTコミュニケーション科学基礎研究所

何, 昕霓
NTTコミュニケーション科学基礎研究所

佐藤, 克成
奈良女子大学

<https://hdl.handle.net/2324/7236434>

出版情報 : Transactions of the Virtual Reality Society of Japan. 27 (1), pp.14-17, 2022. The Virtual Reality Society of Japan

バージョン :

権利関係 :

基礎論文

Wet Referral: 湿り感の指間参照現象の検討

柴原 舞^{*1,2}渡邊 淳司^{*2}何 昕霓^{*2,3}佐藤 克成^{*1}

Referral of Wetness Sensation among Fingers

Mai Shibahara^{*1,2}, Junji Watanabe^{*2}, Hsin-Ni Ho^{*2,3}, Katsunari Sato^{*1}

Abstract --- To clarify the spatial characteristics of wetness perception, we conducted two experiments to determine whether wet stimuli on the index and ring fingers affect the feeling of wetness in the middle finger of one hand. In Experiment 1, we tested whether the perception of dryness on the middle finger is affected by wet or dry stimuli on the outer two fingers. In Experiment 2, we evaluated the uniformity of the wetness perceived from three fingers when the middle and the outer two fingers were presented with stimuli with different degrees of wetness. Results showed that when the index and ring fingers contacted the wet stimuli, and the middle finger contacted the dry stimulus, the dry sensation of the middle finger was weakened. A uniform sensation of wetness was perceived. In contrast, when the outer two fingers contacted the dry stimuli and the middle finger contacted the wet stimulus, the wet sensation on the middle finger was not affected. These results suggest the phenomenon of "wet referral" exists among the fingers in one hand.

Keywords: wetness sensation, referral, tactile illusion

1 はじめに

湿り感, すなわち触れた対象が含む水分に関する感覚は, 衣服の乾きや物体の滑りやすさの判断などに大きな影響を与え, その知覚メカニズムの解明は, 心地よく感じる製品の設計や, リアリティのある触覚提示装置の開発において重要な課題である。

従来の湿り感研究では, 湿り感は温度刺激と機械刺激の感覚統合によって生じることが明らかにされてきた[1,2]. またその際, 指先や掌など, 身体の一部を均一な湿り刺激に提示し実験が行われてきた。しかし日常生活では, 物体の湿った部分と乾いた部分が同時に, 皮膚の異なる近接領域に触れることもあり, その際には, 刺激に対する知覚が変容する可能性がある。例えば, 温度参照作用 (Thermal referral) と呼ばれる現象では, 中指に中程度の温度刺激, その両側の人差し指と薬指に温かい (あるいは冷たい) 温度刺激を与えると, 全ての指が温かく (あるいは冷たく) 知覚される[3,4]. そして, 温度参照作用によって生じる温冷感は 3 本指が均一であり, 3 本指に提示された温冷のエネルギーが平均化された形で知覚が生じていると考えられている[4]. また, 粗さ感でも同様の参照作用が生じ, 中指とは異なる粗さの刺激を人差し指と薬指でなぞるとき, 中指の粗さ知覚

は両隣の指の粗さ刺激 (粗い・滑らか) に応じて変化することが知られている[5]. これまで, 湿り感は温度感や粗さ感に影響されることが指摘されており[1,2], 湿り感についても周囲の刺激を参照して, 物理刺激とは異なる知覚, すなわち湿り参照作用 (Wet Referral) が生じる可能性がある。

そこで本論文では, 湿り感において参照作用が生じるかを心理物理実験によって検討する。もし湿り感でも参照作用が生じるのであれば, 中指の刺激が両隣の指と異なる場合, 中指の湿り感の知覚が影響を受け, 両隣の 2 指と中指で平均化した知覚が生じると予想される。実験 1 ではまず, 人差し指と薬指における乾燥刺激と湿り刺激の組み合わせが中指の湿り感知覚に影響するかを評価する。さらに実験 2 では平均化が生じるかを調べるため, 中指と他の 2 指が異なる刺激に触れるとき, 中指のみ異なる刺激に触れていることを識別できるかを評価する。

2 実験 1: 中指の乾燥感の評価

2.1 実験手法

実験参加者は 12 人 (女性 11 人・男性 1 人, 21~50 歳) で, 実験は NTT コミュニケーション科学基礎研究所の倫理審査委員会の承諾を得たうえで行った。実験の報酬として謝金を支給した。参加者へは予め実験内容を説明し, 同意を得たうえで実験を実施した。

実験の様子を図 1 に示す。実験参加者は, 右手 3 本指 (人差し指・中指・薬指) で 3 つの評価刺激に, 左手 3

*1 奈良女子大学

*2 NTT コミュニケーション科学基礎研究所

*3 九州大学芸術工学研究院

*1 Nara Women's University

*2 NTT Communication Science Laboratories

*3 Faculty of Design, Kyushu University

本指で参照刺激に触れた。それぞれの評価刺激には、大きさ2 cm×7cm, 乾燥状態の重量が0.29g の綿20シーチングを用いた。スチール製の機の冷たさが布ごしに伝わるのを防ぐため、布刺激はウレタンボード上に3枚並べて提示した。実験参加者から刺激が見えないように刺激上部に衝立を立て、参加者は衝立の下から手を差し込んで刺激に触れた。衝立の下には両手の3本指それぞれに対応したレール(図1右)があり、参加者はレールに沿って指を差し込んだ後、指を下におろして刺激に触れた。刺激に触れたら指を動かさず(静的接触)、自然な力加減で全試行同様に触れるよう指示した。

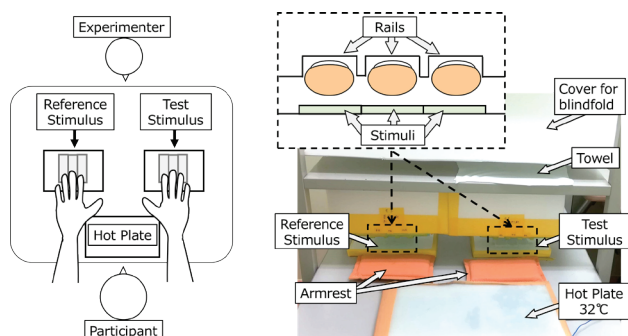


図1 実験装置の配置図(左)と外観(右)

Fig.1 Layout (left) and appearance (right) of experimental setup

評価刺激の条件として、含水分率の異なる乾燥と湿りの2つを設定した。乾燥(Dry; D)刺激は、試料布を実験室(室温25°C, 湿度30%RH)に1時間以上放置したものである。湿り(Wet; W)刺激は、乾燥状態の試料布を水分の保持性能に優れたスポンジで挟むことにより、試料布の含水分率が65%以上になるよう水分を含ませた。含水分率はデジタルはかり(HT-120, 株式会社エー・アンド・デイ)を用いて、乾燥刺激の布の重量と、水を含ませ実験参加者が評価した後の布の重量を測定して算出した。なお、乾燥刺激の含水分率の変化(実験前と評価後の布の重量比)は6%以下であった。以下本論文では、刺激の配置を簡略化するため、人差し指・中指・薬指の順で触れる刺激の頭文字で表記する。たとえば、人差し指と薬指で湿り刺激・中指で乾燥刺激に触れる場合、WDWと表す。

参照刺激はDDD条件のみとし、評価刺激として湿り刺激と乾燥刺激の空間配置を変えた8条件を用意して、右手の中指と左手の中指の刺激が同程度に乾燥しているかを参加者に回答させた。具体的には、中指の刺激を基準とし、乾燥グループ4条件(DDD, DDW, WDD, WDW)、湿りグループ4条件(DWD, DWW, WWD, WWW)を設定した。各条件10試行反復を行い、合計80試行を行った。トータル80試行を5セットに分けた。1セットは各条件2回の評価、つまり16試行をランダムな順番で行った。参加者の集中を維持するために各セット間30分の休憩を設けた。

実験前に、実験参加者が湿りを識別できるかを確認するため、DDD条件やWWW条件に触れながら評価の練習を数回行った。また、各試行前には、指の皮膚温度を調整するため、実験参加者は32°Cに設定したホットプレートに触れた。ホットプレートに触れる時間は、セットの最初の試行の前には5分間、各試行間は30秒間とした。皮膚温度の調整時間が終了すると音が鳴り、この音を合図に参加者はホットプレートから手を離れた。そして、両手の3本指を衝立の下から差し込み、右手で評価刺激に、左手で参照刺激に同時に触れた。触れて5秒が経過した後に、参加者は口頭で、右手の中指で触れている評価刺激が左手の中指の参照刺激と同程度に乾燥していると感じられるか否かについて回答した(A-Not-A法)。評価が終わると、参加者はタオルで手の水分をふきとり、実験者が評価刺激を交換した。以上の手順を繰り返した。

2.2 解析手法

各条件10回ずつの評価から、右手の中指の刺激が左手の中指の刺激と同程度に「乾燥している」と回答した確率を算出した。さらに、乾燥グループと湿りグループの各条件において、中指の感覚に両隣の刺激が及ぼす影響を比較するために、arcsine変換を施した後に刺激条件(水準数4)を要因とする一要因分散分析を行った。有意水準は5%とした。

2.3 結果

図2は参加者が「乾燥している」と回答した確率の平均値を示す(エラーバーは標準誤差)。DDD条件は96.7%, WWW条件は1.7%の確率で「乾燥している」と回答された。つまり、3本の指が物理的に均一な刺激に触れている条件では、「乾燥」あるいは「湿り」を正確に弁別できていたといえる。一方で、中指が両隣の2指とは異なる刺激に触れたWDW条件は37.5%, DWD条件は10.0%で「乾燥している」と回答された。DDD条件とWDW条件では両条件とも中指が乾燥刺激に触れているが、「乾燥している」と答えた確率は大きく異なり(96.7%と37.5%)、またWDW条件は50%チャンスレベルと比べても低いことから、WDW条件では、両端の湿り刺激が中指の乾燥刺激の知覚に対して何らかの影響を与えたと考えられる。

また、一要因分散分析を行った結果、乾燥グループと湿りグループ共に、条件の主効果に有意差が見られた(乾燥グループ: $F(3, 44) = 19.1, p < 0.01$, 湿りグループ: $F(3, 44) = 4.03, p = 0.01$)。さらに、下位検定としてHolmの方法による多重比較を行ったところ、乾燥グループではDDW条件とWDD条件以外の組み合わせで有意差が見られた。湿りグループでは、DWW条件とWWD条件と、DWW条件とWWW条件のみで有意差が見られた。

以上の実験 1 の結果として、中指が乾燥刺激に触れていても、両隣の指のいずれかで湿り刺激に触るとき、乾燥と知覚される確率が低下し、特に両隣の指がどちらも湿り刺激の場合 (WDW 条件) はチャンスレベルを下回った。一方、中指が湿り刺激に触れている場合は、両隣の指で乾燥刺激に触れていても、「乾燥している」と回答される確率が低く、WWW 条件と同等であった。

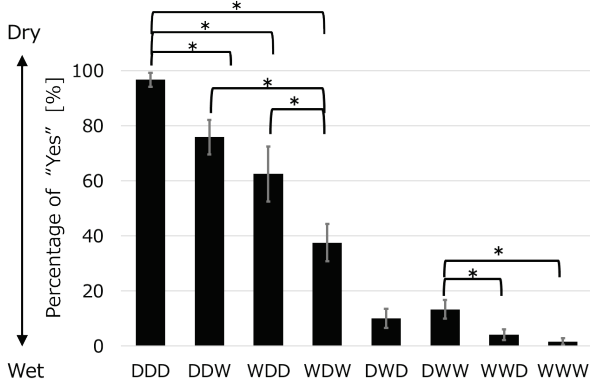


図2 中指の感覚が「乾燥している」と回答した確率
Fig.2 Ratio of perception of "middle finger is dry"

3 実験 2: 均一性判断実験

3.1 実験手順

実験 2 の実験参加者は実験 1 と同じで、同日に実施した。皮膚温度の調整方法や刺激の触り方、評価刺激、含水分率などは実験 1 と同様である。ただし実験 2 では右手のみを用いて行った。

実験 2 では、実験を DWD 条件と DDD 条件のセット、WDW 条件と WWW 条件のセットに分け、各セットでは 2 つの条件をランダムな順番で提示した。参加者は、右手で触れた評価刺激について、3 本指の湿り感の強さが均一に感じるか否かを回答した (A-Not-A 法)。セットの順番は実験参加者ごとに変えた。実験 2 では、各条件につき 10 回反復した、合計 40 試行 (2 条件×2 セット×10 反復) を行った。実験参加者の集中を維持するために、セット間に 30 分の休憩を設けた。

3.2 解析手法

信号検出理論に基づき、正規性・等分散性の仮定のもと、得られた回答確率を感覚弁別力 (Sensory discriminability; d') を分析した。物理的に均一ではない条件 (WDW または DWD) に触れたときに「3 本指が均一ではない」とした回答を正答 (Hit) とし、物理的に均一な条件 (WWW または DDD) に触れたとき「3 本指が均一ではない」とした回答を誤警報 (False Alarm: FA) と定義した。これらの回答確率 (P_{Hit} と P_{FA}) の正規分布曲線から感覚弁別力 d' を計算した。 d' は感覚弁別力の指標として扱われ、 d' が 1.0 以下だと 2 つの刺激を弁別できなかったと示唆される [6,7]。

3.3 結果

図 3 に全実験参加者の d' を箱ひげ図で示す。 d' の中央値は DDD/DDW では 3.4 であり、WWW/DDW では 1.0 であった。図 4 には各参加者の回答確率の分布グラフを示す。グラフの縦軸は P_{Hit} 、横軸は P_{FA} を表す。左上にプロットされるほど d' が大きく、均一と不均一を正しく判断できていることを表す。またグラフ中の曲線と直線は、それぞれ $d'=1.0$ と $d'=0$ の境界を示す。DDD と DWD の弁別では、実験参加者 12 人のうち 10 人は d' の値が 1.0 より大きくなった。一方、WWW と WDW の弁別では、8 人の実験参加者が d' の値が 1.0 以下となった。 d' の値が 1.0 以下となった人数の比についてピアソンのカイ二乗検定 (イエーツの連続性の補正付き) を行ったところ、DDD/DDW と WWW/DDW の条件間に 5% 水準で有意差が確認された ($p=0.04$)。以上の結果から、実験参加者にとって DWD 条件は均一ではないと明確に判断できるが、WDW 条件は WWW 条件と同じように均一に感じられることが示唆された。

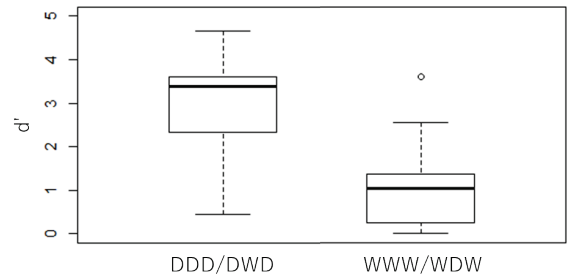


図3 条件ごとの d'

Fig.3 d' of each condition

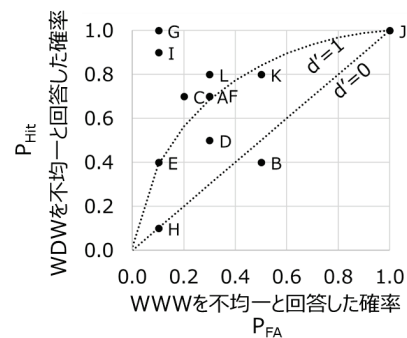
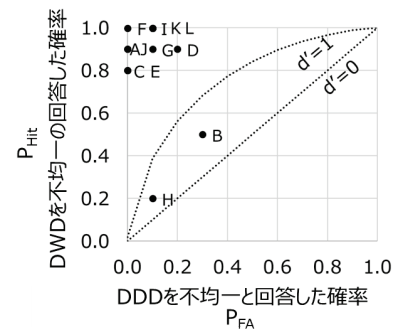


図4 参加者ごとの P_{FA} と P_{Hit}

Fig.4 P_{FA} and P_{Hit} of each participant

4 考察

2つの実験の結果から、WDW条件は3本指で均一な湿りを知覚しやすいことが明らかとなった。一方、DWD条件は中指に湿りを知覚し、3本指で均一な乾燥を知覚しにくかった。これらの結果より、人差し指と薬指で湿り刺激、中指で乾燥刺激に触れる条件では、3本指の湿り知覚が平均化される湿り参照作用(Wet referral)といえる知覚現象が示唆された。

湿り参照が生じるメカニズムとして、温度参照(Thermal referral)を仲介した可能性を考える。湿り感には冷感の関与が指摘[1,2]されており、湿り刺激に触れた人差し指と中指の冷感から、中指には温度参照による冷感を錯覚し、さらに冷たい乾燥を“湿っている”ように感じた可能性がある。

また、3本指で得られた湿り感の統合は、感覚受容器の神経伝達や、大脳体性感覚野に投射された領域上(感覚投射野)で生じると推測する。前者に関しては、人差し指と中指はともに正中神経、薬指は正中神経と尺骨神経の両方が通っていることから、3本指の触覚刺激が神経系で統合される可能性がある。実験1の結果からも、WDD条件のほうがDDW条件より「乾燥している」と回答する確率が低く、人差し指への湿り刺激が中指の知覚により強く影響したと考える。後者に関しては、異なる指における触覚刺激の情報が脳内で統合されることが示されている[8-10]。そのため、3本指の内、人差し指と薬指で受容した湿りの感覚情報が脳における感覚投射野で重なり、乾燥刺激に触れた中指も湿った刺激に触れていると知覚する可能性もある。

一方で、中指に湿り刺激、周囲に乾燥刺激がある条件(DWD条件)では、中指には湿りが知覚された。すなわち、乾燥参照作用(Dry referral)といえる錯覚は生じなかった。この理由として、人間の生活において湿り刺激の検出はより重要性が高いことを考える。例えば、皮膚や衣服が長時間湿った状態にあることは、体温の低下や菌の増殖による衛生面の低下に繋がる恐れがある。また、衣服の湿りから不快感が生じる[11]ことも知られている。このように、人にとって避けるべき湿り刺激を正確に検出するために、乾燥刺激による平均化が生じなかったと考える。ただし、本研究においては湿り感の強度を評価していない。そのため、感覚の平均化までは生じないが、中指における湿り感の強度が、周囲の乾燥刺激により弱まる可能性はある。乾燥参照作用については今後さらなる検討が必要である。

5 おわりに

手の中指における湿り感に、人差し指と薬指への乾燥・湿り刺激が及ぼす影響を、2つの実験により検討した。実験1では、3本指で同時に触れる湿り・乾燥刺激

の配置を変えたとき、中指で乾燥が知覚されるかを評価した。実験2では、3本指から知覚される湿り感の均一性(uniform or not)を評価した。結果として、湿り刺激を人差し指と薬指、乾燥刺激を中指で触れたとき(WDW)、中指の乾燥知覚が弱まり均一な感覚が生起する傾向が見られた。一方、乾燥刺激を人差し指と薬指、湿り刺激を中指で触れたときは(DWD)、不均一を明確に検出できた。これらの結果より、湿り参照(Wet referral)といえる知覚現象が示唆された一方で、周囲の乾燥刺激は中指の湿り感に影響を及ぼさず、乾燥参照(Dry referral)と言える現象は確認されなかった。

参考文献

- [1] I. Bentley: The synthetic experiment. *The American Journal of Psychology*, vol. 11, pp. 405-425 (1900)
- [2] D. Filingieri and R. Ackerley: The biology of skin wetness perception and its implications in manual function and for reproducing complex somatosensory signals in neuroprosthetics. *Journal of Neurophysiology*, vol. 117, no. 4, pp. 1761-1775 (2017)
- [3] B.G. Green: Localization of thermal sensation: An illusion and synthetic heat. *Perception Psychophysics*, vol. 22, no. 4, pp. 331-337 (1977)
- [4] N.N. Ho, J. Watanabe, H. Ando, and M. Kashino: Mechanisms underlying referral of thermal sensations to sites of tactile stimulation. *The Journal of Neuroscience*, vol. 31, no. 1, pp. 208-213 (2011)
- [5] 荒井 観, 岡嶋 克典: 粗さ触知覚における両側刺激の影響. *映像情報メディア学会誌: 映像情報メディア*, vol. 63, no. 12, pp. 1800-1806 (2009)
- [6] D.M. Ennis: The power of sensory discrimination methods. *Journal of Sensory Studies*, vol. 8, pp. 353-370 (1993)
- [7] J. Bi: Sensory discrimination tests and measurements. Iowa: Blackwell Publishing Professional (2006)
- [8] S.C. Gandevia, D. Burke, and B.B. McKeon: Convergence in the somatosensory pathway between cutaneous afferents from the index and middle fingers in man. *Experimental Brain Research*, vol. 50, pp. 415-425 (1983)
- [9] Y. Iwamura, M. Tanaka, M. Sakamoto, and O. Hikosaka: Converging patterns of finger representation and complex response properties of neurons in area 1 of the first somatosensory cortex of the conscious monkey. *Experimental Brain Research*, vol. 51, pp. 327-337 (1983)
- [10] M. Kahrmanovic, W.M. Bergmann Tiest, and A.M.L. Kappers: Context effects in haptic perception of roughness. *Experimental Brain Research*, vol. 194, pp. 287-297 (2009)
- [11] T. Fukazawa and G. Havenith: Differences in comfort perception in relation to local and whole body skin wittedness. *European Journal of Applied Physiology*, vol. 106, no. 1, pp. 15-24 (2009)

(2021年9月10日受付)