

液面知覚に関する研究

Tactile perception of the liquid surface

三宅潤也¹⁾, 佐藤未知²⁾, 橋本悠希²⁾, 梶本裕之²⁾

Junya MIYAKE, Michi SATO, Yuki HASHIMOTO and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学 電気通信学部 情報通信工学科

(〒182.8585 東京都調布市調布ヶ丘1.5.1, junya@kaji.lab.jp)

2) 電気通信大学 電気通信研究科 人間コミュニケーション学専攻

(〒182.8585 東京都調布市調布ヶ丘 1.5.1, {michi, hashimoto, kajimoto}@kaji.lab.jp)

Abstract: When we soak our hands or arms in the surface of water, there is a phenomenon which we can feel clearly its boundary between water and atmosphere as a sense of touch. It becomes more distinctly when air temperature and water temperature are an equal, so it is thought it involves not the thermal receptor but the mechanoreceptor. However, mechanism underlying the perception is not fully understood. If we perceive hydraulic pressure itself, its pressure is proportional to the depth, therefore we cannot perceive the surface, which hydraulic pressure is 0. This study aims to make clear how we perceive the boundary between atmosphere and water as a sense of touch, and we examined about surface tension which is thought as one of the most important possibilities affects an interface.

Key Words: Tactile, Liquid surface, Perception, Interface

1. はじめに

水面に手や腕を浸すと、水と大気との境界をはっきりと触覚として感じるという現象がある(図1)。この現象は Meissner の古典的観察[1]にて確認されている。Meissner は、指を水銀に浸したとき、指先には圧力を感じず、水銀の液面の部分でのみ圧力を感じることを発見した。



図 1. 水面を触覚的に知覚している様子

しかし、どのような物理的機序でこのような触覚が生じるのか未知の部分が多い。この現象は、我々が液面に対して運動した際に強く感じ、静止していると感じなくなる。また、水温と体温を等しくした場合により明瞭になることから、温度受容器ではなく機械受容器が関与していると考えられる。

えられる。

仮に我々が水圧そのものを知覚しているとする、その圧力は水深に比例し、水深が 0 の水面において水圧は 0 である。そのため、水面を知覚するという現象において、単純に水圧を知覚しているということは考え難い。そこで本研究では、我々がどのようにして大気と液体の境界を触覚的に知覚しているのかを明らかにすることを目的とし、界面に作用するという点で我々が液面として知覚しているものである可能性の一つとして考えられる表面張力の寄与を検証する実験を行った。

表面張力の異なる液体に前腕を浸し、その際に生じる液面の触覚の強弱を比較し、この触覚現象における表面張力の寄与を検証した。さらに、皮膚とともに界面および液体に触れるという点で、我々が液面として知覚しているものである可能性の一つとして考えられる体毛の液面知覚の寄与を検証する実験も行った。同一の液体に、体毛を剃った腕と、体毛を剃っていない方の腕を同時に浸し、このときの液面の触覚における強弱を比較し、体毛の寄与を検証した。

2. 実験

2.1 表面張力の測定

液面の触覚的知覚に対する表面張力の寄与を検証するために、表面張力の高い液体と低い液体を準備する必要がある。

ある。

まず表面張力の測定は、表面張力により生じる毛細管現象を利用して行った[2][3] (図2)。毛細管現象によって管内に液体が入りこみ、もとの液面よりも管内の液面の位置が高くなる。このとき、管内に入りこんだ液体にかかる重力 $\rho g h \pi r^2$ と、管内壁面に管内の液体が及ぼす表面張力 $2 \pi r \gamma$ が釣り合っている。よって液体の密度 ρ 、毛細管の半径 r が既知ならば、液面からの毛細管内の液面の高さ h を測定することにより、表面張力を測定することが出来る。

本実験では水道水および水道水に中性洗剤(ライオン株式会社製 泡のチカラ)を加えた水溶液を測定対象とした。また、中性洗剤水溶液は質量濃度を徐々に上げ、表面張力の変化を観察した。

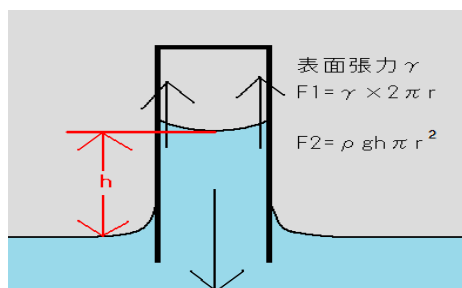


図2. 表面張力測定原理

測定の結果を図3に示す。液体の表面張力を測定した結果、水道水の表面張力が約 63mN/m となり、中性洗剤水溶液は質量濃度 2%でそれ以上表面張力が低下しなくなりその時の値が約 26mN/m となった。よって以後、表面張力の寄与を検証する実験において、質量濃度 2%の中性洗剤水溶液を用いることにした。

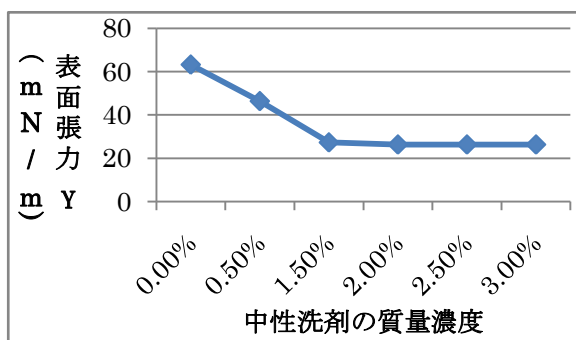


図3. 中性洗剤水溶液の質量濃度と表面張力との関係

2.2 表面張力の寄与の検証実験

大気と液体の界面に作用するという点で、液面の触覚的知覚現象の要因として、重要な可能性の一つとして考えられる表面張力の寄与についての実験を行った。

2.2.1 実験被験者について

実験は被験者 21 歳から 27 歳までの男性 17 人について行った。実験作業の順番の違いによる感覚の偏りを考慮し

て、実験手順の順番を2通り用意し、被験者をAグループ(8人)とBグループ(9人)に分割した。

2.2.2 実験方法

人間の皮膚表面温度約 34 度付近に液温を設定した液体 1 (水道水) と、液体 2 (質量濃度 2%中性洗剤水溶液) それぞれを入れた容器を一つずつ用意した。

以下、実験手順を箇条書きで述べる (図6)。

<Aグループ>

1. 右前腕を液体 1 に浸し、そのとき液面を触覚的に感じるかどうかを「はい・いいえ」の 2 択で回答させた。
2. 手順 1 で「はい」と回答した被験者を対象に、右前腕を液体 1 に浸したまま左腕前腕を液体 2 に浸し、同時に両腕を液面に対して上下に運動させた (図4)。
3. このとき、液体 1 に浸した右前腕で感じた液面の触覚的な鮮明さを 3 (基準) とし、左前腕で感じた液体 2 の液面の触覚的な鮮明さを 1 から 5 の 5 段階で相対評価をさせ、回答させた。
4. 左右を交換し、右前腕を液体 2 に浸したまま左前腕を液体 1 に浸し、同時に両腕を上下に運動させた。
5. このとき、液体 1 に浸した左前腕で感じた液面の触覚的な鮮明さを 3 (基準) としたとき、液体 2 に浸した右前腕で感じた液面の触覚的な鮮明さを 1 から 5 の 5 段階で相対評価をさせ、回答させた。
6. 液面の鮮明さの相対評価の際に基準とする液体を液体 1 から液体 2 に変え、手順 1 から 5 を再度行った。

<Bグループ>

1. 右前腕を液体 2 に浸し、そのとき液面を触覚的に感じるかどうかを「はい・いいえ」の 2 択で回答させた。
2. 手順 1 で「はい」と回答した被験者を対象に、右前腕を液体 2 に浸したまま左腕前腕を液体 1 に浸し、同時に両腕を液面に対して上下に運動させた。
3. このとき、液体 2 に浸した右前腕で感じた液面の触覚的な鮮明さを 3 (基準) とし、左前腕で感じた液体 1 の液面の触覚的な鮮明さを 1 から 5 の 5 段階で相対評価をさせ、回答させた。
4. 左右を交換し、右前腕を液体 1 に浸したまま左前腕を液体 2 に浸し、同時に両腕を上下に運動させた。
5. このとき、液体 2 に浸した左前腕で感じた液面の触覚的な鮮明さを 3 (基準) としたとき、液体 1 に浸した右前腕で感じた液面の触覚的な鮮明さを 1 から 5 の 5 段階で相対評価をさせ、回答させた。
6. 液面の鮮明さの相対評価の際に基準とする液体を液体 2 から液体 1 に変え、手順 1 から 5 を再度行う。

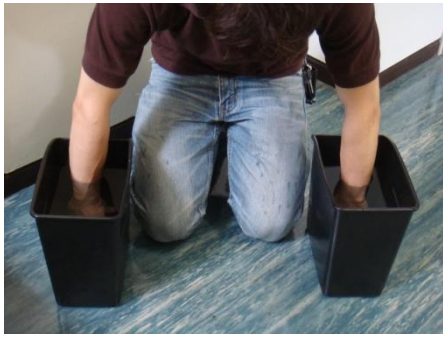


図 4. 実験の様子

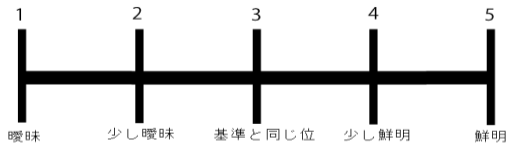


図 5. 液面の触覚的鮮明さの回答の指標

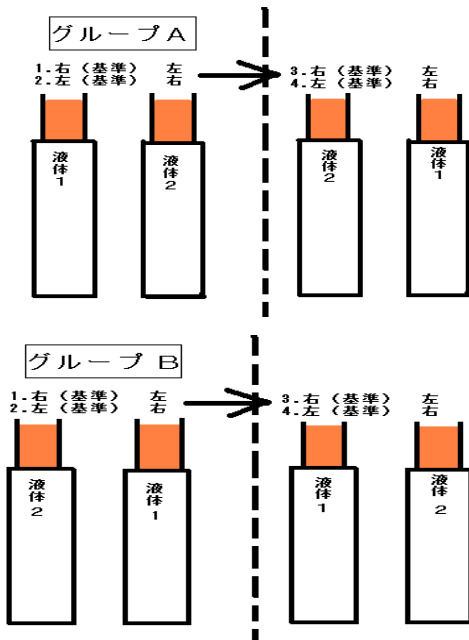


図 6. 表面張力の寄与の検証実験概要図

2.2.3 実験結果

液体 1 を基準に液体 2 の相対的な鮮明さを 1 から 5 の 5 段階で、また液体 2 を基準に液体 1 の相対的な鮮明さを同様に回答させた結果を、表 1 に示す。鮮明さの最大値は 0.4 だけ液体 1 の方が大きくなり、最小値は 2.9 となり液体 1 も液体 2 も同じ値となった。また、A グループ（最初に液体 1 に触れたグループ）は液体 1 を強く感じ、B グループ（最初に液体 2 に触れたグループ）は液体 2 を強く感じたと回答した者が多かった。以上より先に触れた、もしくは先に基準とした液体の方を強く感じるという傾向が表れた。

5 段階の鮮明さの回答の他に、腕を液面に浸す場合と液面から出す場合と、どちらの方が鮮明に感じるかという質問を行った。その結果、A グループでは 8 人中 7 人、B グループでは 9 人中 8 人が液面から出すときの方が洗面に感じ

ると回答した。残りの被験者は A, B グループともに液面に浸すときの方が鮮明に感じると回答し、どちらでもないという回答した被験者はいなかった。

表 1. 触覚的鮮明さの回答結果（1 から 5 の 5 段階）

	液体 1 (水道水) 約 63mN/m	液体 2 (中性洗剤水溶液) 約 26mN/m
A	3.3	2.9
B	2.9	3.1
全体平均	3.1	3

2.3 腕および手の体毛の寄与の検証実験

表面張力とともに、大気と液体との界面において、その境界に直接触れるという点で液面の触覚的知覚に対して重要な可能性の一つである体毛の寄与を検証した。

2.3.1 実験被験者について

実験は被験者 21 歳から 27 歳までの男性 16 人について行った。被験者は実験 2.2 と同様に被験者を A グループ（8 人）、B グループ（8 人）に分割した。被験者は左腕および左手の体毛を剃った。

2.3.2 実験方法

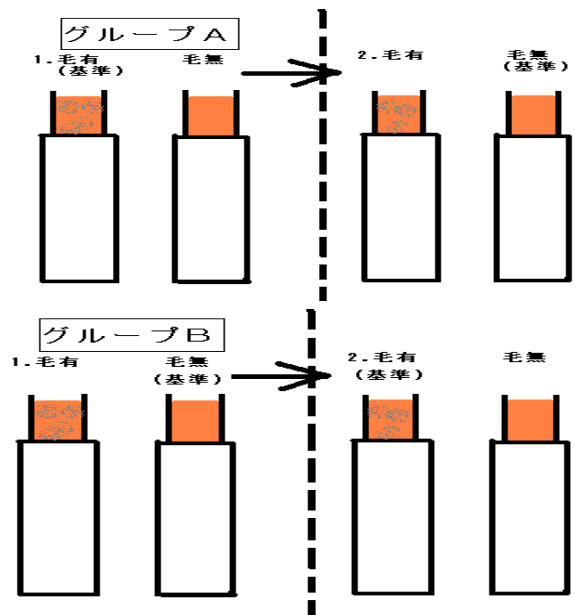


図 7. 体毛の寄与の検証実験概要図

人間の皮膚表面温度約 34 度付近に液温を設定した水道水を入れた容器を二つ用意した。

実験手順を以下に箇条書きで示す（図 7）。

< A グループ >

1. 体毛を剃っていない側の前腕を水道水に浸し、その際に感じた液面の触覚的鮮明さを 3（基準）とし、同時に体毛を剃った側の前腕を水道水に浸して感じた液面の触覚的鮮明さを 1 から 5 の 5 段階で相対的に評価させ、回答させ

た。

2. 一度液体から両前腕を出させ、両前腕をタオルで拭かせた。

3. 体毛を剃った側の前腕を先に水道水に浸し、その際に感じた液面の触覚的鮮明さを3（基準）とする。このとき体毛を剃っていない側の前腕を水道水に浸して感じた液面の触覚的鮮明さを1から5の5段階で評価させ、回答させた

< Bグループ >

1. 体毛を剃った側の前腕を水道水に浸し、その際に感じた液面の触覚的鮮明さを3（基準）とし、同時に体毛を剃っていない側の前腕を水道水に浸して感じた液面の触覚的鮮明さを1から5の5段階で相対的に評価させ、回答させた。

2. 一度液体から両前腕を出させ、両前腕をタオルで拭かせた。

3. 体毛を剃っていない側の前腕を先に水道水に浸し、その際に感じた液面の触覚的鮮明さを3（基準）とする。このとき体毛を剃った側の前腕を水道水に浸して感じた液面の触覚的鮮明さを1から5の5段階で評価させ、回答させた。

2.3.3 実験結果

回答の結果を、表2に示す。Aグループ（最初に体毛を剃っていない方の腕および手を水道水に浸したグループ）、Bグループ（最初に体毛を剃った方の腕および手を水道水に浸したグループ）ともに、体毛を剃った方がより液面の鮮明さがあいまいになる、という結果が得られた。また、本実験では先に基準として水道水に浸したのが毛を剃った方が剃っていない方かという順番が大きく影響していた。Aグループではこの傾向が特に顕著で、先に基準とした方に大きな優位性が見られた。Bグループでもこの傾向はみられ、Aグループの体毛を剃った側の鮮明さとBグループのそれとを比較すると相対的に鮮明に感じていた。

5段階の鮮明さの回答の他に、腕を液面に浸す場合と液面から出す場合とだと、どちらの方が鮮明に感じるかという質問を行った。その結果、液面に浸す場合の方が鮮明に感じると答えた人はAグループでは8人中2人、Bグループでは8人中1人となった。液面から出す場合の方が鮮明に感じると答えた人はAグループでは8人中2人、Bグループでは8人中2人、他の被験者はどちらも同じ位の鮮明さでどちらとも言えないと回答した。

表2. 触覚的鮮明さの回答結果

	体毛なし	体毛あり
A	1.1	4.5
B	3	3.3
全体	2.05	3.9

3. 考察

今回、表面張力の液面知覚への寄与を検証する実験と体毛の液面知覚への寄与を検証する実験を行い、実験手順の順番によって大きく触覚的な鮮明さの印象が大きく変わってくるのが分かった。基準とする液体をどう設定するかで、大きく実験結果が変わってきてしまうので、今後同様の実験を行う場合にも比較時の対象とするもの、比較時に基準とするものは前後の順番を入れ替えてそれらの結果を平均化するなどの注意が必要であると考えられる。

また、表面張力の寄与を検証した実験2.2において、水道水と中性洗剤水溶液ではそれぞれの表面張力に2倍以上の差があるにも関わらず、被験者が感じた鮮明さの違いは大きく表れなかった。しかし、表面張力の大きな水道水の方が若干ではあるが鮮明であるとの回答が多かったので、今回の実験のみで表面張力の寄与の可能性を棄却することは出来ない。今後、表面張力と同じ大きさの力を腕および手に提示することで、本当にそのような力を我々が触覚的に液面として認識しているのかを検証する必要がある。そして、体毛の寄与を検証した実験2.3の回答結果より、液面を触覚的に知覚する現象において体毛の寄与はかなり大きいことが分かった。被験者ごとに個人差はあったが、「液面の位置があいまいになった」、「腕がずっと液面から抜けるような感覚で抵抗を感じなかった」、「まったく水面を感じない」等の感想が得られた。これより、日常的に体毛を剃る習慣のある女性はほぼ液面を感じないのだろうか、という疑問が残るので、今回は男性のみを被験者としたが、今後は女性を被験者とした実験も行う。また、本論文では触れなかったが、利き腕の液面の触覚的鮮明さに対する寄与も検討する必要がある。

最後に今後の展望としては、我々の機械受容器のうちどの受容器が液面の触覚的知覚に関係しているのかを特定するために、液面を特定の周波数で上下させ、液面の触覚的知覚における鮮明さの周波数特性を検証する実験を行う。そして、液面の周波数に対する反応特性からこの現象に寄与している機械受容器の特定をし仮説を立て、さらに前野らの研究[4][5]と同様に有限要素法解析によって皮膚内の歪みを調べ、仮説を検証する。

参考文献

[1] Grong von Bekesy, 勝木保次 訳：感覚と抑制, pp. 97, 98, 医学書院, 1969

[2] 小野周：表面張力, 共立出版, 1980

[3] ドウジェンヌ, プロシヤール-ヴィアール, ケレ 著, 奥村剛 訳：表面張力の物理学, 吉岡書店, 2003,

[4] 前野隆司, 小林一三, 山崎信寿：ヒト指腹構造と触覚受容器の力学的関係, 日本機械学会論文集 (C編) 63巻 607号, 1997

[5] 前野隆司, 山田大介, 佐藤英成：ヒト指紋形状の力学的意味, 日本機械学会論文集 (C編) 71巻 701号, 2005