

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 17 日現在

機関番号：33803

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25540061

研究課題名(和文) 錯触の分類と錯触感覚情報処理機構の研究

研究課題名(英文) A classification of tactile illusions and information processing mechanisms of the illusions

研究代表者

宮岡 徹 (Miyaka, Tetsu)

静岡理工科大学・総合情報学部・教授

研究者番号：00111815

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：錯触の代表例(velvet hand illusion, fishbone tactile illusion, lattice tactile illusion)について、心理物理実験(3種類すべて)と脳機能イメージング実験(velvet hand illusion)を行い、その出現機序について検討した。

その結果、刺激提示により、脳内に仮想的表面が生じること、その表面特性と観察者が期待する表面特性の間に不一致が存在すると錯触があらわれるものと推定された。不一致の主要な要因は主観的摩擦である。この主観的摩擦は、皮膚機械受容器活動、脳の情報処理が関係して生じるため、物理的摩擦とは異なっている。

研究成果の概要(英文)：We performed psychophysical experiments for three typical examples of tactile illusions (a velvet hand illusion: VHI, a fishbone tactile illusion: FTI, and a lattice tactile illusion: LTI) and brain functional imaging experiments for the VHI.

We supposed that virtual surfaces were produced in an observer's brain when suitable tactile stimuli were presented to observers. The observers feel tactile illusions when virtual-stimulus-surface characteristics do not match with the surface characteristics which the observers expected. We estimated that subjective frictions of the virtual surfaces were important to understand the tactile illusions. We need to pay attention that the subjective frictions are produced by the activities of nervous system and are different from the physical frictions.

研究分野：心理物理学

キーワード：触覚 錯触 機械受容器 脳機能イメージング 心理物理学 3Dプリンタ

1. 研究開始当初の背景

心理学分野では、最近、錯視研究がブームとなっている。これに対し、触覚の錯覚である錯触の研究はほとんど実施されていない。一方、工学分野では触覚の研究が盛んに行なわれており、その一環として錯触の研究も注目されている。しかし、工学分野の研究は研究結果の工学的応用を目的としており、錯触の心理学的・脳科学的解明を第一義に目指すものではない。そこに、心理学者を中心とした研究者が、錯触の基礎研究をする意義があると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、当初は、錯触についての体系的な研究を、文献による錯触分類と錯触の実験的研究の両側面から進めることを目的とした。

実験的研究では、研究開始時点では発売されていなかった 3D プリンタを購入、利用することが出来た。基本的に、最初計画した研究をほぼ達成したと考える。これに対し、文献的研究については、皮膚感覚、自己受容感覚を含んだ広範囲の体性感覚について研究することを考えていたが、実験的研究との兼ね合いから、皮膚機械受容器（触受容器）による対象表面認識時に起こる錯触を中心に調べることになった。

3. 研究の方法

本研究は、心理物理学を専攻する研究代表者、工学専攻の連携研究者、脳認知科学専攻の連携研究者が緊密な連絡を取りつつ研究を実施した。

研究代表者である心理物理学者は、心理物理学実験のデザイン、3D プリンタなどを用いた心理物理学実験用刺激の作成および実験の実施、脳機能イメージング実験時の実験手法のアドバイス、実験参加などを担当した。

連携研究者である工学者は、脳機能イメージング実験における刺激作成を担当した。脳機能イメージング実験に用いる装置では強い磁場が発生するため、金属製の刺激は使えない。そこで、工学者がプレキシグラスおよびカーボンファイバーを用いて刺激を作成し、実験時における刺激調整なども行った。

連携医研究者である脳認知科学者は、脳機能イメージング実験をデザインし、また、実験を行った。さらに、脳機能イメージング実験に参加した大学院生の監督指導も行った。

4. 研究成果

本研究では、3 年間にわたり、多くの実験を行ったが、その代表的なものについて、ここで解説する。

(1) Velvet Hand Illusion 研究

Velvet hand illusion (VHI) は、目の粗い金網を両手で挟み、挟んだまま両手を同時に動かすと、手が非常になめらかに、また柔らかく感じられる錯触である。本研究では、VHI がどのような条件で現れるか、そのとき脳ではどのような活動が観察されるか、また、VHI があらわれる理由といった側面について研究した。研究手法は、心理物理学実験および脳機能イメージング実験とした。

これらの研究の結果については、論文(4)、学会発表(1)、(2)、(4)、(6)、(7)、(10)、(12)で発表した。また、論文 2 編を執筆中である。

心理物理学的研究

VHI は、もともとは金網を触っているときに発見されたものであるが、もっと単純な刺激でも出現する。本研究では、2 本の平行に張った鉄線を両手で挟んで鉄線と直交方向に両手を同時に動かすことにより、VHI を測定した。実験は、マグニチュード推定法と一対比較法により行ったが、ここでは、マグニチュード推定法の結果を示す。

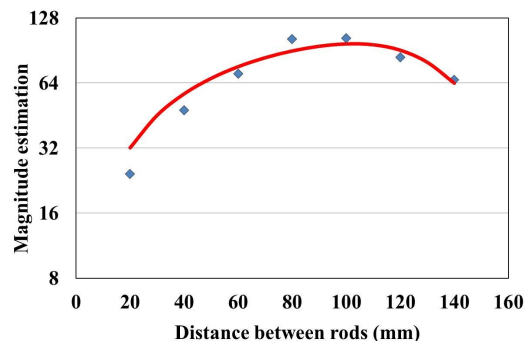


図1 マグニチュード推定法による VHI 測定結果。

図1で、横軸は2本の鉄線間距離、縦軸は錯触のマグニチュード推定値である。この図から、鉄線間距離が80~100 mm のとき、錯触量が最大となることがわかる。鉄線間距離がそれより大きくても小さくても、錯触量は減少した。また、図中の赤線は、幾つかの仮定から計算された錯触量の理論値である。

心理物理学実験の結果から、VHI が生じる原因については、以下のような仮説を考えた。金網を挟んだ両手を同時に動かすと、脳内に金網の面を含む“仮想的な表面”が形成される。通常は、対象表面を触ると何らかの摩擦が感じられるが、金網の場合は、針金の金属部分を除き両手が直接に接するので、仮想表面の摩擦がゼロ、すなわち非常になめらかであると感ずるのである。

脳機能イメージング法による研究

岡崎の生理学研究所で、脳機能イメージング法による VHI の実験を行った。実験には金属製の刺激を使用できないので、心理実験と類似の刺激をプレキシグラスとカーボンファイバーを用いて作成した。脳機能イメージング実験の結果、体性感覚野(SI)と小脳が、VHI とベルベット自体の知覚で活性化されること、

前頭葉 - 頭頂葉の神経ネットワークがベルベット自体より VHI でより強く活性化されることが明らかとなった。この結果は、ハワイで開催された学会で発表した。

(2) 3D プリントを用いて作成した刺激を用いた、心理物理学的手法による錯触研究

3D プリントを用いて作成した刺激により、いくつかの錯触実験を行った。これらの結果は、論文(1)、学会発表(2)、(3)、(4)、(5)、(8)、(9)、(10)で発表した。

Fishbone tactile illusion (FTI) の錯触量測定

FTI は、仲谷らによって発見された錯触である¹⁾。刺激が1本の太い畝とそれと直交する多数本の細い畝からなり、魚の骨のような形をしているのでこの名がつけられた。FTI の刺激を正確に作成することはかなり難しかったが、2015年に±25 μmの精度で刺激作成可能である比較的安価な3Dプリンタが発売され、本実験が可能となった。

まず、すべての畝が、平坦な表面から同一の高さ(高さ0.5 mm)となるように、刺激を作成しておく。観察者は太い畝に触れつつ、その畝に沿って指を動かす。すると、太い畝の部分が凹んで感じられる錯触が起こる。

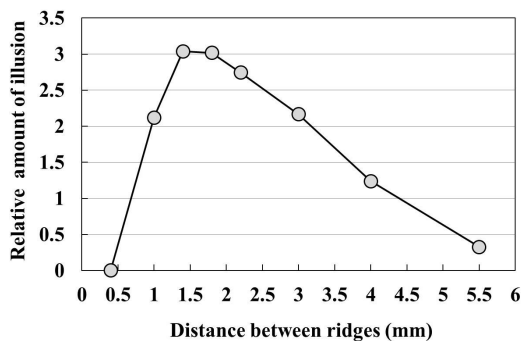


図2 一対比較法で測定したFTIの相対錯触量

一対比較法を用いてFTIの錯触量測定を行った結果を、図2に示す。図の横軸は、細い畝間の距離、縦軸は錯触量の相対値をあらわす。相対錯触量は、畝間距離が0.4 mmから増えるにつれ急速に増大し、1.4 mmで最大に達した。畝間距離がさらに増大すると、1.8 mmから5.5 mmまで錯触量は緩やかに減少した。相対錯触量は、全体としては、畝間距離の関数として上に凸のパターンを示した。

観察者の感想としては、「畝間距離が0.4~1.0 mmでは、畝間の距離が小さいため凹凸の印象が少なく、錯触が感じられなかった。逆に畝間距離が4.0~5.0 mmでは、1本1本の細い畝の印象が強く、錯触が弱くなった」とのことであった。

上記のような感想を考慮すると、FTIにおける錯触現象のあらわれ方は、観察者が刺激を触ったときに感じる“主観的な摩擦”と関連しているものと推測される。すなわち、観察者の感じる太い畝部分を凹んで感じる錯触は、太い畝部分の摩擦と細い畝部分の摩擦差

に依存する。観察者は細い畝で構成されるパターンを面として感じ、これと太い畝部分で構成される面について、それらの滑らかさを比較する。細い畝間の距離が小さいときは、観察者は細い畝部分全体を比較的滑らかな面として感じる。このため、太い畝部分との摩擦差が少なく、錯触量も少なくなる。細い畝間距離が中程度のときは、細い畝全体の面としての摩擦が大きくなり、太い畝表面との差が大きくなって、太い畝部分を凹んで感じる錯触の印象が強くなる。細い畝間距離がさらに広がると、1本1本の畝の印象が強くなり、細い畝部分の面としての印象が減少して、太い畝との面としての比較が難しくなるので、錯触量も減少するのだと思われる。

Lattice tactile illusion (LTI) の錯触量測定

われわれは、3Dプリンタで測定した刺激について検討しているとき、図3のような格子状刺激で錯触が生じることを発見した。この格子状刺激は、同一の高さ(高さ0.5 mm)の太い畝と細い畝を組み合わせたパターンとなっている。図3の刺激の上で、細い畝に直交するように指を動かすと、細い畝が盛り上がりて感じられる錯触が生じる。われわれは、この錯触を格子錯触(LTI)と名付け、その錯触量測定を行った。

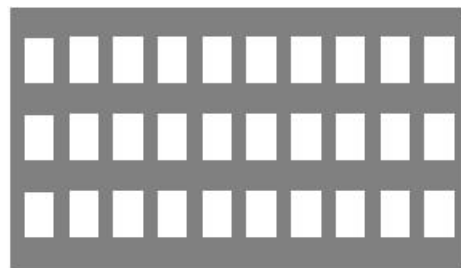


図3 LTIの錯触量測定に用いた刺激例

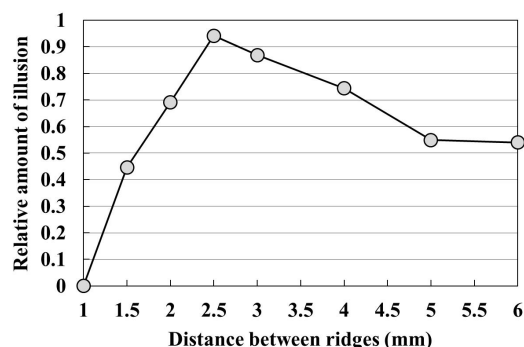


図4 一対比較法で測定したLTIの相対錯触量

一対比較法を用いてLTIの錯触量測定を行った結果を図4に示す。図の横軸は、細い畝間の距離、縦軸は錯触量の相対値をあらわす。図4を見ると、LTIの錯触量は、細い畝間距離が1~2.5 mmで急激に増大した。相対錯触量は、細い畝間距離が2.5 mmのときに最大値に達し、畝間距離がそれより広くなると、減少に転じた。

LTI では、観察者が指を動かす方向と直交する細い畝部分が太い畝の部分より膨らんで感じられた。観察者は、主観的な摩擦が大きい部分をなめらかな部分に比べて盛り上がって感じたことと推定される。ただし、ある部分を盛り上がっていると感じるためには、その部分を一つの面として感じ、しかもその面の主観的摩擦が隣り合った面（太い畝）の主観的摩擦より大きい必要がある。この主観的摩擦の大きな面が膨らんで感じられるという現象は、畝間距離が 2.5 mm のとき最も大きくあらわれた。畝間距離が 2.5 mm より小さいと、面の印象ははっきり感じられても主観的摩擦は小さくなる。また、畝間距離が 3.0 mm 以上では、一つ一つの畝の印象が強くなり、面の印象が弱くなる。いずれの場合も、隣り合った太い畝の面と比較したとき、錯触の印象が薄れたものと推定された。

(3) 錯触の生じる原因についての考察

錯触には、体性感覚のさまざまな側面が関与していると考えられる。たとえば、アリストテレスの錯覚には、触覚、自己受容感覚が関与している。しかし、ここでは体性感覚のうち触覚に限定し、どのような条件下で錯触が生じるかについてのみ考察する。なお、これらの考察の一部は、論文(1)、学会発表(1)、(2)、(4)、(7)、(10)に発表した。

錯触を引き起こす主な原因としてわれわれが推定したものは“摩擦”である。ただし、この摩擦は物理的な摩擦とは必ずしも一致しない“主観的な摩擦”である。物理的な摩擦は、物理的刺激のみによって摩擦強度が定義される。これに対して、主観的な摩擦は、観察者が感覚として感じる摩擦で、末梢および脳における神経活動と密接なかわりを持っている。

たとえば velvet hand illusion (VHI) では、観察者が金網を両手で挟み、両手を同時に動かすと、手掌が非常に滑らかに柔らかく感じられる。この錯触の程度は、金網の目の大きさの関係しており、目が大きいときははっきりした錯触が起こり、目が小さいと錯触は起こらない。この錯触が生じる原因については、(1)にも簡単に述べたが、次のように推定される。観察者が金網を挟んで動かすと、観察者の脳は金網面に重なって“仮想的な”表面が存在すると判断する。ところが、金網の目が大きいと、両手はお互いに直接触れ合う。両手を同時に動かすと、直接触れ合っている手は同時に動くので、両者の間には物理的な摩擦が起こらない。脳は、対象の表面を触ったときは大なり小なり摩擦が起こると仮定しているので、摩擦のない状態を“非常になめらか”と判断し、その結果 VFI が起こるのである。これに対し、実験に用いる金網の目が小さいと両手が直接触れ合わないため、VHI は生じない。

Fishbone tactile illusion (FTI) では、太い1本の畝と、それと直交する多くの細い畝に同時に触れつつ指を動かすと、(2)で述べたよ

うに、太い畝が凹んで感じられる錯触が生じる。このとき、観察者は細い畝の集まりを面と感じる。その面の主観的摩擦量と太い畝の摩擦量の差が大きい場合、太い畝が凹んでいると感じるのである。細い畝が互いに離れると、主観的摩擦は大きくても、細い畝が一つの面と感じられないため、FTI の量は減少する(図2)。

(2)の Lattice tactile illusion (LTI) の場合も、錯触の出現する基本メカニズムは FTI と同様であると考えられる。では、なぜ、FTI では畝が凹んで感じられ、LTI で畝が膨らんで感じられるのであろうか。この現象は、錯触においても“図と地の錯覚”のような現象が生じたためと推定される。FTI では、太い畝に注意を向けたため、そこが凹んで感じられた。これに対し、LTI では細い畝に注意を向けたため、細い畝で構成される面が膨らんで感じられたのである。主観的摩擦が大きい面が膨らんで感じられ、小さい面が凹んで感じられるという意味では、同一の現象を異なった面から見ているものと考えられる。

このように、主に皮膚機械受容器(触受容器)のみが関与する錯触においては、対象の面の認知と主観的摩擦が大きな役割を果たすものと考えられた。

<引用文献>

1) 仲谷正史, 梶本裕之, 川上直樹, 館暉, Fishbone Tactile Illusion を通した凹凸知覚の研究, 10, 2005, 201-204.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

(1) 宮岡徹, 3D プリンタを用いた錯触刺激の作成と錯触量測定, 静岡理工科大学紀要, 査読有, 24, 2016 (印刷中)

(2) Mohammad Azzeim bin Mat Jusoh, Masahiro Ohka, and Tetsu Miyaoka, Finite element analysis of human tactile sensing to differentiate thin foils through comparison between vertical and angled loads, Procedia Computer Science, 査読有, 76, 2015, 40-46.

(3) 本多正計, 唐川裕之, 赤堀幸一, 宮岡徹, 大岡昌博, 振動刺激条件の相違が運動錯覚の誘発と知覚量に及ぼす影響, 日本バーチャルリアリティ学会誌, 査読有, 19(4), 2014, 457-466.

(4) N.Rajaei, M.Ohka, T.Miyaoka, et.al., Investigation of VHI Affected by the Density of Mechanoreceptive Units for Virtual Sensation, International Journal of Smart Sensing and Intelligent Systems, 査読有, 6, 2013, 1517-1532.

(5) 宮岡徹, 着衣状態における触識別能力を測る, 静岡理工科大学紀要, 査読有, 21, 2013, 51-58.

〔学会発表〕（計 22 件）

- (1) Tetsu Miyaoka, Measurement of the Velvet Hand Illusion and a simulation model proposal to explain the quantity of the illusion, ICP, 31, 2016, Yokohama (発表予定) .
- (2) Tetsu Miyaoka, Several examples of tactile illusion, Fechner Day 2015, 8/17-8/21, Quebec, Canada.
- (3) 宮岡徹, 格子錯触の発見と錯触量測定, 日心, 79, 2015, 9/22-9/24, 名古屋 .
- (4) 宮岡徹, 触受容器と末梢における触覚情報処理, 触覚講習会(招待講演), 11 月 27 日, 2015, 滋賀 .
- (5) 宮岡徹, 一対比較法による fishbone tactile illusion 錯触量の測定, 基礎心, 34, 2015, 11/28-11/29, 大阪.
- (6) Rajaei N., Kitada R., Aoki N., Takahashi H. K., Miyaoka T., Ohka M., and Sadato N., The brain network underlying the velvet hand illusion: An fMRI study, The 21st Annual Meeting of Organization for Human Brain Mapping, 2015, Hawaii, USA.
- (7) Tetsu Miyaoka, A mathematical model to explain the quantity of Velvet Hand Illusion, Fechner Day 2014, 8/18-8/22, Lund, Sweden
- (8) 宮岡徹, 3D プリンタで錯触刺激を作る, 日心, 78, 2014, 9/10-9/12, 京都 同志社大学.
- (9) 宮岡徹, 3D プリンタで作成した幾何学的 “ 錯触刺激 ” の錯触量測定, 基礎心, 2014, 12/06-12/07, 首都大学東京南大沢キャンパス .
- (10) Tetsu Miyaoka, Human haptic perception, International Five-Sense Symposium(招待講演), 2014, 3/7, 日田 .
- (11) Tetsu Miyaoka, Measurements of distinguishing abilities of clothed buttocks, Fechner Day 2013, 10/21-10/25, Freiburg, Germany.
- (12) 宮岡徹, Velvet Hand Illusion の出現量と出現メカニズム, 基礎心, 2013, 12/07-12/08, 金沢 .

〔図書〕（計 3 件）

- (1) 宮岡徹(共著), 実験・実習で学ぶ心理学の基礎, 日本心理学会, 2015.
- (2) 宮岡徹(共著), 誠信心理学辞典, 誠信書房, 2014.
- (3) 宮岡徹(共著), 触覚認識メカニズムと応用技術 触覚センサ・触覚ディスプレイ【増補版】, 2014.

〔産業財産権〕

- 出願状況(計 0 件)
取得状況(計 0 件)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

宮岡 徹 (MIYAOKA, Tetsu)
静岡理科大学・総合情報学部・教授
研究者番号：00111815

(2)研究分担者
無し ()

(3)連携研究者
大岡 昌博 (OHKA, Masahiro)
名古屋大学・情報科学研究科・教授
研究者番号：50233044

北田 亮 (KITADA, Ryo)
生理学研究所・大学共同利用機関等の部局
等・助教
研究者番号：50526027