

# 手掌振動刺激と前腕運動による 弾性物体把持錯覚の研究

Haptic Illusion of Elasticity by Combination of Vibratory Tactile Stimulation to the Palm and Forearm Motion

蜂須拓<sup>1)</sup>, 大島沙也佳<sup>2)</sup>, 橋本悠希<sup>2)</sup>, 梶本裕之<sup>2)</sup>

Taku HACHISU, Sayaka OOSHIMA, Yuki HASHIMOTO and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学 人間コミュニケーション学科

2) 電気通信大学大学院 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, {hachisu, ooshima, hashimoto, kajimoto}@kaji-lab.jp)

**Abstract:** In the current study about skin sensation, numerous precedents of haptic illusions perceived in static condition have been reported, such as the “Aristotle’s illusion”. However, there are a few examples of tactile illusions involving dynamic action like “swing arms”. In this situation, we found out a new illusion as if an elastic object bounced on a palm to the accompaniment of a forearm movement if we gave a steadily vibratory tactile stimulation to the palm while moving the forearm vertically. This illusion is only observed while the forearm is moving, the occurrence of illusions is thought that somatic sensations is related. In this paper, we investigate the mechanism of this new haptic illusion focusing on the velocity and the direction of the forearm and the strength of the vibratory tactile stimulation.

**Key Words:** Haptic Illusion, Sense of Elasticity, Movement-Related Gating, Somatosensory System

## 1. はじめに

これまでの触覚研究において、「アリストテレスの錯覚」や「ねじり唇の錯覚」[1]に代表されるように、対象が静的な状態における触錯覚例は数多く報告されてきた。しかしながら、「腕を振る」等の動作を伴う状態での触錯覚例は少ない。この中で我々は、前腕を上下に振る動作中に掌に定常的な振動触覚を与えると、前腕が振り下されると掌に弾性物体が衝突し、前腕が振り上げると弾性物体が掌から離れていくといった、運動に合わせて手の中で弾性物体が弾んでいるかのような錯覚が生じることを発見した。本錯覚は前腕の運動に合わせて弾性感が生じることから、前腕の位置もしくは速度と振動覚の感度の間には何らかの相関があると考えられる。

すでに前腕運動と触覚の知見として、能動触と受動触ではテクスチャ認識において差がないことが報告されている[2]。その一方、任意の方向をもった刺激が指先に呈示された際の方向知覚は、前腕の運動状態が静止状態、受動状態、能動状態の順で鈍くなることも明らかにされている[3]。そして Chapman らは前腕を周期的に動かすことにより、振動覚の閾値が減少することを報告している[4]。しかしながら、未だ運動中の前腕の位置や速度と振動覚の感度の関係に関する知見は無い。本論文では、前腕が周期的な運動をしている際、掌の振動覚が時間的にどのように変化

するかを観察し、その結果から本錯覚の発生機序を考察する。

## 2. 実験

### 2.1. 実験システム

振動刺激の提示にはスピーカ（リードサウンド株式会社, LW060P1-W）を使用した（図 1）。振動刺激は DA ボード（Interface 社, PCI-3523A）を介し、オーディオ用アンプで増幅されスピーカより出力した。



図 1 スピーカ

## 2.2. 実験手順

前腕運動時と静止時における掌の振動知覚能力を比較するため、はじめに前腕静止時の掌の振動覚の閾値を測定した。

図 2 に示すように、被験者は左肘を軽く曲げ左掌を上に向けた状態で椅子に座り、スピーカコーンと左掌が密着するようにスピーカを掌の上にマジックテープで固定した(図 3)。この状態で、掌に提示される振動刺激に対し、スピーカの振動振幅をキーボード操作によって自ら増減する調整法を用いて、掌が振動を感じる閾値を求めた。



図 2 実験の様子



図 3 スピーカが掌に固定されている様子

掌に提示する振動は、事前に予備実験を行った結果、30Hz の正弦波を提示した場合に最も顕著に錯覚を生じることがわかった。よって本実験では、被験者が正弦波の立ち上がりインパルスを強く感じてしまう可能性を考慮し、30Hz の正弦波振動にハミング窓を乗算した波形(図 4)を掌に提示した。刺激は呈示時間 0.11s、呈示間隔 1s で提示した。

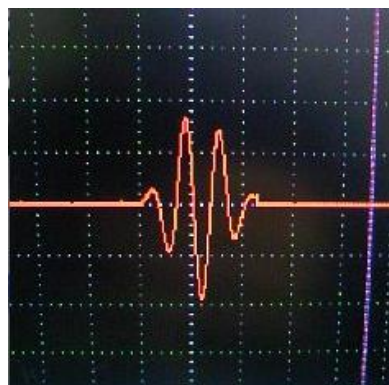


図 4 出力波形

次に、前腕運動時の掌の振動覚の閾値を測定した。

被験者は前腕静止時の実験と同様の姿勢を取った後、振幅 10cm、周波数 1Hz で上下に単振動する PC モニタ上の球体に合わせて左前腕を振り、先の実験と同様に調整法で掌が振動を感じる閾値を求めた。PC モニタ上で単振動する球体の 1s の周期を時間軸で 9 分割した区間 (0~0.11, 0.11~0.22, 0.22~0.33, 0.33~0.44, 0.44~0.56, 0.56~0.67, 0.67~0.78, 0.78~0.89, 0.89~1.00) がランダムで選ばれ、その区間で刺激が与えられた。被験者 20 代男性 5 名と女性 1 名に対し、各時間区間において 3 回、計 27 回閾値を求めた。

図 5 に本実験のシステム図を示す。実験中はイヤホンを通じてホワイトノイズを呈示した。実験にかかった時間は約 1 時間であった。

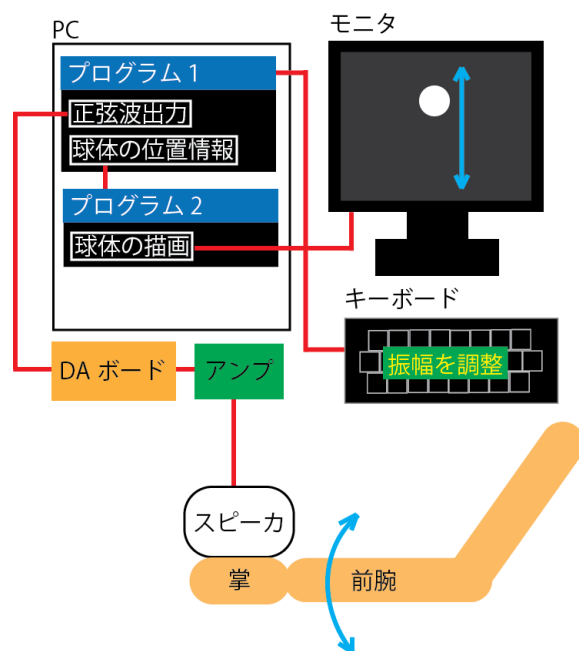


図 5 システム図

### 2.3. 実験データの解析

実験で得られたデータはPCからの出力値である。このデータのままで評価が困難であるため、実験Aにおいて得られたPCの出力値を平均化したもので、実験Bの各時間区分において得られたPCの出力値を平均化したものを除した。これにより、静止時の振動覚の振幅の閾値を1としたとき、運動時の振動覚の閾値がどれほど変化したかを評価した。

### 3. 実験結果

掌の位置と前腕運動中の振動覚の閾値の変化を図6に示す。主縦軸は前腕静止時の振動覚の閾値の振幅平均値を1としたときの値を、第2縦軸は掌の位置を、横軸は時間を示す。前腕運動中の振動覚の閾値は静止時の振動覚の閾値より大きくなるのが分かった。これはChapmanの報告と同様の傾向を示すものである。

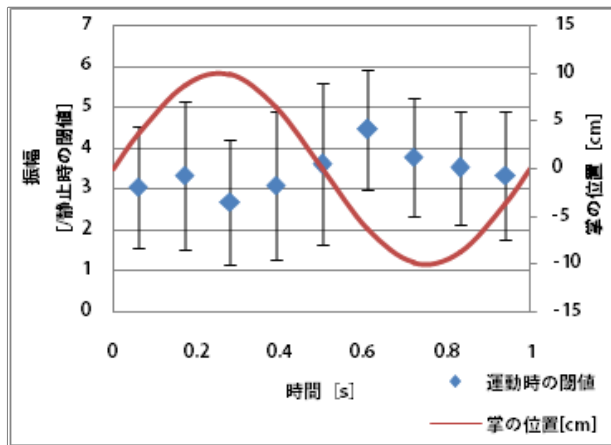


図6 掌の位置と振動覚の閾値の関係

図7は第2縦軸に掌の速度をとり、掌の動く速度と前腕運動中の振動覚の閾値の変化を示したものである。前腕運動中の振動覚の閾値は掌の速度に位相遅れを加えたものであることが分かった。

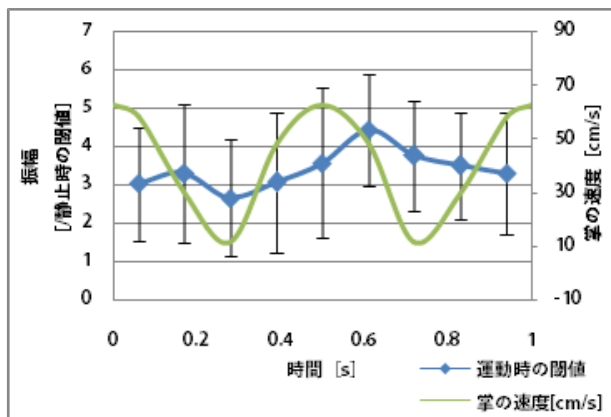


図7 掌の速さと運動時の閾値の関係

### 4. 考察

実験結果から、前腕を単振動周期で運動させた場合における腕の速度に対して、掌の振動覚の閾値は若干の位相遅れをもって変化することが明らかになった。実世界において、皮膚と錘の間に弾性体を入れた場合を考えると、骨の動きに対して皮膚変位が位相遅れをもつとき、人はその遅れを弾性と解釈すると推察される(図8)。

本錯覚では掌の骨の動き速度に対して、皮膚表面上に伝わる振動刺激が位相遅れを持っていたために、まるで弾性体を把持しているような錯覚が掌に生じたのではないかと推測される。

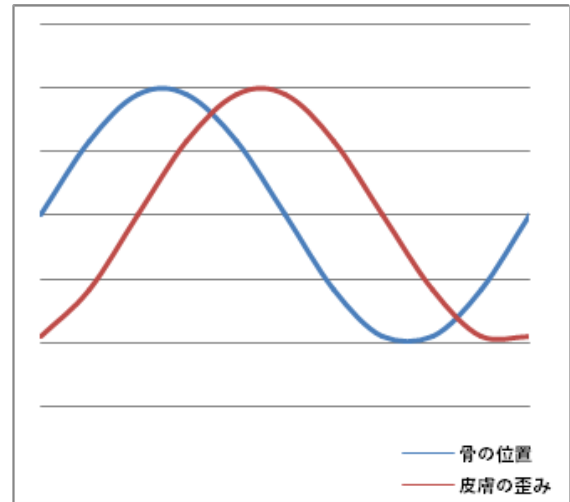


図8 弾性体を把持して手を動かした場合の骨の位置と皮膚歪みのイメージ

### 5. まとめ

本稿では、前腕運動中に掌へ振動刺激を与えると弾性感を生じるという新しい現象について報告し、前腕運動中の振動覚の変化を測定した。

今後は異なる振動周波数を与えた場合に、振動覚の感度と前腕の速度の関係は同様の傾向を示すかを検証していく予定である。

### 参考文献

- [1] 大山正, 今井省吾, 和氣典二, 菊池正: 新編 Part 2 感覚・知覚心理学ハンドブック, 誠信書房, pp.420, 2007
- [2] S. J. Lederman: The perception of surface roughness by active and passive touch, Bulletin of the Psychonomic Society, vol.18(5), pp. 253-255, 1981
- [3] Marco P. Vitello, Marc O. Ernst and Michael Fritsch: An instance of tactile suppression: Active exploration impairs tactile sensitivity for the direction of lateral movement, proceedings of the EuroHaptics 2006 International Conference, pp. 351-355, 2006

[4] L. J. Post , I. C. Zompa, C. E. Chapman: Perception of vibrotactile stimuli during motor activity in human

subjects, Exp. Brain Res. 100, pp. 107-120, 1994