



合成振動触覚刺激に対する知覚現象の基礎検討

A Basic Study of Perceptual Phenomenons on Synthetic Vibrotactile Stimulation

久原拓巳¹⁾, 駒崎掲²⁾, 渡邊淳司²⁾, 田中由浩¹⁾

Takumi KUHARA, Kakagu KOMAZAKI, Junji WATANABE, and Yoshihiro TANAKA

- 1) 名古屋工業大学 工学研究科 (〒 466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町, t.kuhara.538@nitech.jp)
2) NTT コミュニケーション科学基礎研究所 (〒 243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮 3-1)

概要: 本研究では臨場感を高めるためにこれまで利用されてきた多チャンネルと新しく提案する合成振動触覚刺激で引き起こる知覚現象の比較や必要条件の探索を行った。ドリブルしている際の刺激を用いた場合のどちらを用いた際にも同様の現象が確認された。さらに、刺激の再生速度を変化させるとボールが手足間を行き来するような感覚が得られるのは限られた範囲であること、合成振動触覚刺激でも十分その感覚が得られることが示された。

キーワード: 振動触覚刺激, 触覚体験, 知覚現象

1. はじめに

近年、触覚情報を計測・提示する術が数多く開発されており、臨場感や没入感を向上する感覚要素としてメタバースへの応用が期待されている。例えば手元に加えて振動触覚刺激をベストを通して上半身に提示し、視覚刺激と組み合わせるなど、これまで臨場感の高い刺激として、複数の身体部位にそれぞれ対応した振動が用いられている [1]。全身で関連する触覚刺激を感じることによって現実に近い体験を再現し、臨場感や没入感を高める試みがなされてきた。

一方、鎖骨へ振動を提示することによって刺激が体表伝搬振動と骨伝導によって全身に広がり、音楽体験が高まったり [2], HMD をつけた状態で顔に温度刺激を与えると全身でシャワーを浴びているように感じたり [3], 少ない刺激の提示数でも全身に体感が広がる事例も報告されている。また臨場感をたけめるための手法として、複数の提示部位それぞれに対して別種類の振動が多チャンネルで提示されてきた。しかし、NTT 西日本全日本フェンシング選手権で行った「なりきり体感観戦」[4] では他チャンネルの刺激ではなく、複数箇所得られた情報を合成した振動刺激 (合成振動触覚刺激) を用いてフェンシングの追体験イベントを行い、合成振動触覚刺激でも臨場感の高い体験が得られたと報告されている。このイベントで用いた合成振動触覚刺激は図 1 のように複数の刺激を合成して作られている。多チャンネルの刺激はそれらを伝送するためのチャンネル数が増え、必要な設備が多くなる問題点が存在する。それに対して合成振動触覚を用いることによって伝送に必要なチャンネルを 1 つに減らすことができ、既存のシステムでも多チャンネル刺激のように触覚を臨場感高く与えることができ、今後の応用に期待できる。

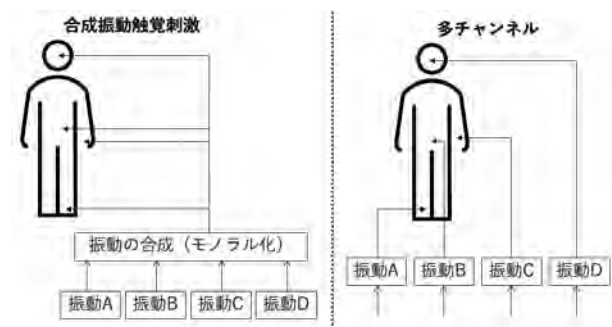


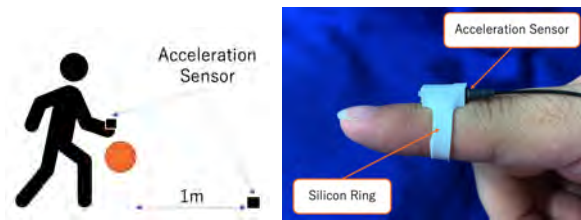
図 1: 合成振動触覚刺激と多チャンネル

そこで本研究では、合成振動触覚刺激による知覚現象について、その発言条件や限界を明らかにすることを目的とする。本稿では、バスケットボールをドリブルした際に発生する床の振動と指先の振動を加速度センサで計測し、それらを混ぜ合わせた合成振動触覚情報と多チャンネルを刺激とした際の知覚現象についての基礎検討及び比較を行った。

2. 刺激の提示構成

2.1 刺激映像

刺激映像の記録は、図 2 のようにバスケットボールをドリブルする人の約 1m 先の床と指先に装着したシリコンゴムからなるリングに加速度センサ (昭和測器者 Model-2302B) を取り付け、その際の様子も同時に正面から撮影した。そのため、計測した床の振動はボールが床に当たった時の振動しか記録されていないのに対して、指先の振動はボールと指が接触したことによる振動以外にも、手を上下に動かす動作による加速度変化も振動として記録されている。加速度センサからの振動情報はオーディオインターフェース



(a) 刺激計測時のシステム図 (b) シリコンゴムリング

図 2: 加速度センサの位置と指の加速度測定リング

(Roland 社, Rubix22) を通して、それぞれ記録した。記録には OBS のソフトを利用し、振動の合成や動画の編集には Adobe 社の Adobe Audition と Premiere Pro を用いて編集を行なった。今回用いた刺激映像では約 20 秒の間に 25 回ドリブルを行っており、一回のドリブルにかかる時間が平均して約 0.8 秒だった。

2.2 振動刺激の提示方法

まず、予備調査として刺激の提示方法について、合成振動触覚刺激と多チャンネルのそれぞれで様々な方法を試した。その中で、最もボールが行き来している感覚が強く感じられた図 3 と図 4 を用いた。図 3 のデバイスは手元提示用で、直径 150mm の半球を ABS 樹脂によって造形し、バスケットボールを模して溝をほり、そこにゴムシートを貼り付けたデバイスとなっている。図 4 のデバイスを足元提示用で、ABS 樹脂版に高さ 40mm の支えを 2 つつけたものになっており、片足ずつで乗る設計となっている。各デバイスにはそれぞれ振動子 (FOSTER 社 639897, Acouve 社 VP4) が付けられており、振動子を通して触覚刺激を提示する。

2.3 基礎検討

刺激映像に合わせて手元と足元に触覚刺激を提示するとボールが行き来している感覚が、合成振動触覚刺激と多チャンネルの両方で確認された。さらに、刺激の再生スピードを多少変化させても同様の現象が確認できた。またこの時、合成振動触覚刺激を手元のみまたは足元のみで提示した際は複数の振動情報を知覚できていることを確認した。また、手元と足元のどちらかに刺激を提示した際にはボールが行き来しているような感覚は確認できなかった。一方、計測した指先の振動のみあるいは床の振動のみを手元と足元の両方に提示しても、ボールが行き来している感覚が確認された。

これらのことから、振動を提示するだけではボールが行き来しているような感覚が得られず、手元と足元両方に振動刺激を提示することによって、振動の解釈が変化していると考えられる。そこで、2 種類の実験を行った。手と足の間をボールが行き来する感覚についての評価を行った。もう一つは、刺激の再生スピードを変化させながらボールが行き来しているような感覚が得られる範囲を検討した。

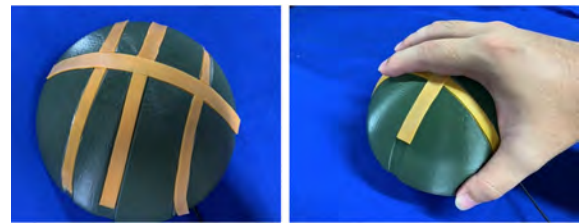


図 3: 手元に振動を与えるデバイス



図 4: 足元に振動を与えるデバイス

3. 実験方法

実験時の様子を図 6 に示す。被験者は視覚刺激を与えるモニターからは約 1m 離れた位置で右手でボール型デバイスを持ち、足元のデバイスの上に立ってもらった。ボール型デバイス及び足元のデバイスから与えられる振動刺激の波形を図 5 に示す。上段は計測した床の振動、中段は計測した指先の振動、下段はそれらを合成した合成振動触覚刺激の波形をそれぞれ示している。多チャンネルは足元には計測した床の振動、手元には計測した指先の振動を提示し、合成振動触覚刺激は手元と足元両方に、合成された刺激を提示する。

3.1 提示刺激の選定

最もボールが行き来する感覚が強く感じられた多チャンネルの刺激を 100 点とした。それと比較してドリブルしている際に計測した指先のみ振動、床のみ振動、それらを合成した合成振動触覚刺激、合成振動触覚刺激の提示音量を 0.75 倍したもの、0.50 倍したものをそれぞれ手と足に同時に提示した時のボールが行き来する感覚の強さを 0 から 100 点の間で点数化して答えてもらった。また、提示する映像は全てドリブル 3 回分の約 2.5 秒の映像を用いて直感的に答えてもらった。

実験は 20 代男性 10 名に行ってもらい、最初に 100 点となる多チャンネルの刺激を提示し、その後上述した 5 種類の比較刺激をランダムに提示し、それぞれの点数を答えてもらう試行を 3 セット行い、合計 15 試行行ってもらった。

3.2 ボールが行き来する感覚の知覚範囲

ボールが行き来するような感覚が得られる映像の再生スピードの閾値を極限法を用いて、調査した。ボールが行き来するような感覚は刺激の再生スピードが速すぎても、遅すぎても発生しないことが考えられる。したがって、実験試料にはドリブル 3 回分の刺激を 0.1 倍から 1.5 倍まで 0.1 倍ずつスピードを変化させた刺激と 0.5 倍から 2.5 倍まで 0.1

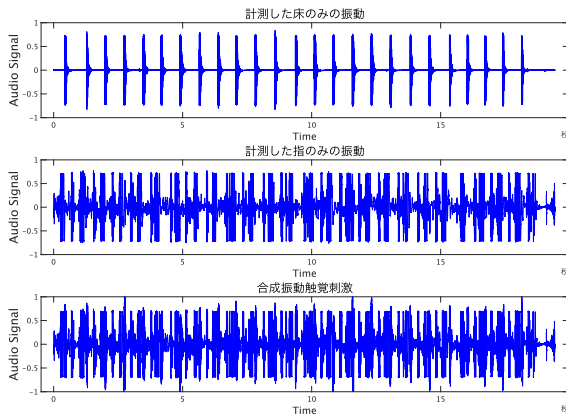


図 5: 計測した振動情報

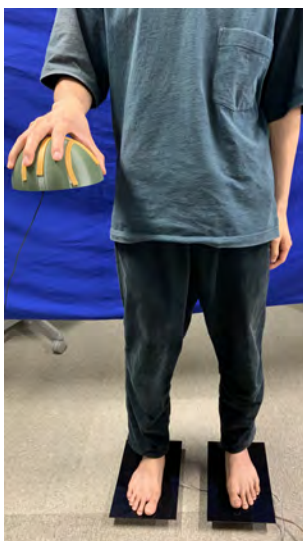


図 6: 実験時の様子

倍ずつスピードを変化させた刺激を用意した。さらに、合成振動触覚刺激と多チャンネルの刺激の両方で実験を行った。

実験は 20 代男性 4 名に行ってもらい、合成振動触覚刺激と多チャンネルを提示する順番は被験者間カウンターバランスを取った。上昇系列と下降系列を 4 回ずつ行い、ボールが行き来しているような感覚が得られる閾値を測定し、最後に簡単なアンケートを答えてもらった。

4. 実験結果

4.1 提示刺激の選定実験

ボールが行き来している感覚を点数化してもらった結果を図 7 に示す。各条件全て多チャンネルの 100 点に対してウィルコクソンの順位和検定の結果、有意な差が確認され、各条件間の有意差比較のためにウィルコクソンの符号順位検定を行った。結果から、提示音量 1 倍の合成振動触覚刺激は床のみの振動を除く、残りの指のみの振動、提示音量 0.75 倍と 0.50 倍の合成振動触覚刺激の 3 条件に対して有意な差があることが明らかになった。

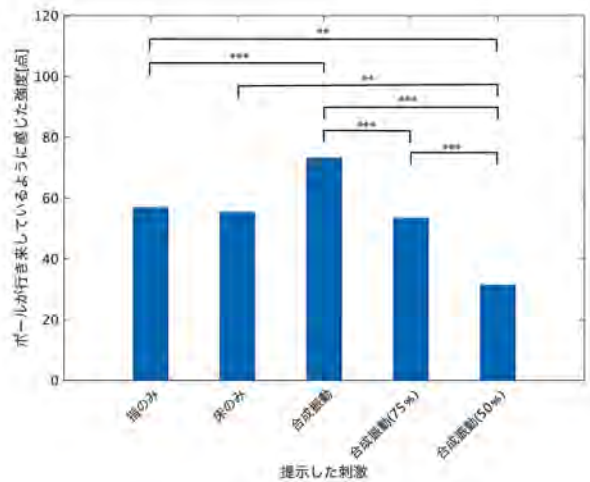


図 7: 各刺激の点数 (* p<.05, ** p<.01, ***p<.001)

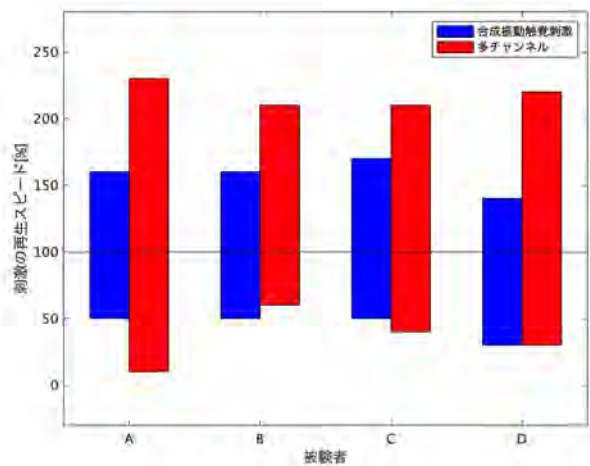


図 8: 知覚現象の発生範囲

4.2 ボールが行き来する感覚の知覚範囲

極限法で計測したボールが行き来しているような感覚が得られる刺激の再生スピードの知覚範囲を図 8 に示す。多チャンネルを用いた場合はボールが行き来している感覚は刺激の再生スピードが速くても感じられるのに対して、合成振動触覚刺激を用いた場合はスピードが速すぎると感じられないことがわかった。また、多チャンネル、合成振動触覚刺激どちらを用いた時でも、刺激の再生スピードを遅くしすぎてしまうとボールが行き来している感覚が感じられないことが確認できた。

5. 考察

今回の実験で、合成振動触覚刺激でも十分ボールが行き来する感覚が確認できることがわかった。また、計測した指のみの振動と床のみの振動でもボールが行き来するような感覚が得られたが、実験後のアンケートの中では手元と足元に同時に刺激を提示していたにもかかわらず、時間差があったかのように感じて、ボールが行き来しているように感じたと回答した人が複数いた。そのため、映像からの情報で得られる予測が働き、知覚や解釈に影響があったと

考えられる。さらに、合成振動触覚刺激の音量を変化させるにしたがって、点数が下がっていくことについては提示される振動の大きさがボールが行き来している振動としては弱く感じたため、評価点数が低くなったと考えられる。

また、多くの被験者に刺激を提示する際、自然とボール型デバイスを持っている手を映像に合わせて上下させる動作がみられた。これは、ボールが手足間を行き来している感覚があるために、本人の記憶の経験が呼び起こされ、ボールが行き来している感覚に合わせた動作を行ったためと考えられる。そのため、振動を提示するデバイス、姿勢、自身の動作などが合成振動触覚を用いる際に、大きな影響を与える要素である可能性が高い。

6. 結言

本稿では、各身体部位に対応した正確な振動刺激でなくとも、合成振動触覚刺激のような「余分な刺激も合わせて提示することによって振動の解釈を変化させることができる可能性が示唆された。またその際には、本実験でボールを模擬したデバイスを通して振動を提示したように、状態を揃えることも重要な要素の一つとして考えられる。さらに、解釈に応じて本人の経験などの要素から、与えられた刺激の知覚強度が変化している可能性があり、今後定量的な評価や本知覚現象が起こる条件をさらに詳細に調べていきたい。

7. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 21H05071,21H05072 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] García-Valle, Gonzalo, Manuel Ferre, Jose Breñosa and David Vargas. “Evaluation of Presence in Virtual Environments: Haptic Vest and User’s Haptic Skills.” *IEEE Access* 6 (2018): p. 7224-7233.
- [2] 岡崎 龍太, 櫻木 怜, Vibol Yem, 梶本 裕之, 鎖骨への触覚提示による体表伝搬振動とその音楽体験への影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2016, 21 巻, 4 号, p. 645-655
- [3] Shirota, Kenichi, Makoto Uju, Roshan Lalintha Peiris and K. Minamizawa. “Liquid-VR - Wetness Sensations for Immersive Virtual Reality Experiences.” *AsiaHaptics* (2018).
- [4] NTT 西日本, ”Fencing Next Era Challenge”, <https://www.ntt-west.co.jp/brand/newnormal/fnec/0>, NTT西日本 (参照 2022-7-20)