

振動提示による打撃音源の前後位置知覚の改変

○岡崎 龍太（電気通信大学）、梶本 裕之（電気通信大学）

Effects of Vibration from Hitting Object on Auditory Distance Perception

○Ryuta OKAZAKI (UEC), and Hiroyuki KAJIMOTO (UEC)

Abstract: There are several reports that the perceived auditory texture or position of the object are modified by vibration accompanied with hitting the object. The present study investigated the effect of vibration from hitting object on auditory distance perception by presenting vibration on users' palm. Experimental results showed that the auditory distance perception was strongly effected by presented vibration on users' palm and this effect became stronger as presenting vibration got greater.

1. はじめに

我々は日常生活において、同一の事物からの聴覚刺激と触覚刺激を同時に受ける場面が多い。代表的な例は物体を手に把持した棒等で打撃する場面である。打撃位置からの打撃音は聴覚により捉えられ、棒を介した振動は手掌部の触覚により捉えられる。これらの感覚情報を統合して我々は対象への距離や材質、打撃強度等を把握していると考えられる。

ここでは特に、打撃時の距離感に着目する。我々の先行研究[1]により、手掌部に伝達される触覚が距離感の一要素であること、および、手掌部の触覚強度の空間的分布も距離手がかりとして活用されている可能性を示した。一方で、聴覚と触覚という二つの手がかりの相互作用の可能性については検討していなかった。

もし、打撃時の距離感が聴覚と触覚の両方で把握される状況下において、この距離感を触覚によって大幅に修正可能であるならば、例えばコンピュータゲームにおいてラケットの打撃や敵への斬撃等を表現する際に、スピーカからの音声と手掌部の触覚の組み合わせによって適切な距離感を提示出来ることを意味する。

対象物の位置、距離に関する知覚のうち、左右方向に関しては、ヒトの耳は左右に一つずつ存在するため、左右の耳に伝わる音波の位相差や音圧差で左右の方向定位が可能であることはよく知られている[2]。またこの左右の音源位置定位は、触覚刺激によって改変可能であることが示されている[3][4][5]。

一方で、対象物の前後方向の聴覚的な距離知覚は左右方向に比べて困難であることが知られている。近藤らは被験者の身体近傍後方空間に音像を提示し、その距離知覚に対する触覚刺激の影響を調査した。その結果、触覚刺激は音像の距離弁別精度には影響を与えるものの、距離知覚には影響を及ぼさなかつたことを報告している[6]。また Tajadura-Jiménez らの報告によると身体広範囲への振動提示によって、逆に音像の前後

方向の知覚が妨害されることが示されている[7]。

先述したとおり触覚刺激によって左右の音源位置定位の改変が可能であることは示唆されているが、触覚刺激による聴覚の前後方向の距離知覚改変に関する知見は限られている。そこで本稿では、打撃音を聴覚のみで提示した場合と、触覚刺激を付加した場合を比較し、音源の前後位置知覚が変化するかを検証した。

2. 実験 1 触覚刺激による音源前後位置知覚改変

本実験では聴覚の前後方向の位置知覚を触覚刺激によって改変可能かを検証する。ここでは被験者の前方に等間隔に 5 つのスピーカを設置し、そのうちいずれかのスピーカより音を提示し、被験者に聴覚による音源の位置を回答させるタスクを行った。またその際触覚刺激を被験者の手元に提示することで、触覚刺激による音源の位置知覚を改変することを試みた。

2.1 装置

被験者の前方に 5 つの聴覚刺激提示用スピーカ (NSW2-326-8A, AURA SOUND) を 15cm 間隔で配置し聴覚刺激を提示した。聴覚提示用スピーカとは別に、被験者の手元部分に触覚刺激提示用振動子 (Vp-2, Acouve Lab) を配置し、被験者がこれを把持することで振動を提示した(Fig. 1)。各スピーカ及び振動子はデジタルオーディオアンプ (M50, MUSE) を介して独立に PC と接続した。振動子を駆動する際に発生する音を遮断するため振動子は吸音シートで覆った。また聴覚刺激提示用スピーカが振動し、視覚的に音源位置を特定する可能性があるため、実験前に実験者が目視可能な振動が生じていないことを確認し、更に実験時に各被験者にスピーカの振動が目視不可能であることを確認した。

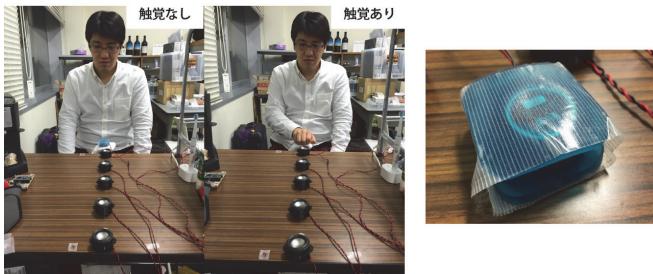


Fig. 1 (Left) Five loudspeakers for auditory stimuli.
(Right) Vibration actuator for tactile stimuli.

2.2 条件

実験は被験者が振動子を把持しない条件(振動無し条件)と把持する条件(振動あり条件)の 2 つを用意した。聴覚及び触覚刺激の提示は物体を打撃した際に実際に生じる打撃音をあらかじめ記録し、その波形を PC から再生することで行った。各聴覚刺激提示用スピーカーの音量は等しく設定した。触覚提示に関しては波形の高周波成分が音としても提示されてしまうことを防止するため、波形にローパスフィルタをかけ、高周波成分を除去したものを提示した。振動の強度は振動子への印加電圧(10V)によって統制した。振動刺激なし条件(被験者が振動子を把持しない条件)でも振動子の駆動は行い、振動子から漏れ出る音の影響を最小限に抑えた。

2.3 手続き

実験開始とともに、着座した被験者の前方にある 5 つの聴覚刺激提示用スピーカーの一つより打撃音を 700ms の周期で断続的に提示した。被験者は聴覚で知覚する音源の位置を各スピーカーに付した番号(被験者手前側より 1-5 番)を用いて回答した。スピーカーは被験者前方 15cm から 15cm 間隔で 5 つ設置された(15cm-75cm)。

音源の位置をスピーカ群より手前、あるいは奥に知覚する可能性を考慮し、スピーカ群よりも手前側に音源を知覚した場合 0 番、スピーカ群より奥に音源を知覚した場合 6 番を回答させた(Fig. 2)。実験は振動無し条件と振動あり条件でセッションわけをして行い、セッションごとに 5 つのスピーカから聴覚刺激を 4 回ずつランダムに提示した。振動あり条件では被験者は手元の振動提示用振動子を利き手で把持しながら同様のタスクを行った。なお順序効果の影響を考慮し、被験者の半数は触覚ありセッションを先に実施、のこり半数は触覚なしセッションを先に実施した。被験者は 6 名(女性 2 名、20-34 歳)であった。

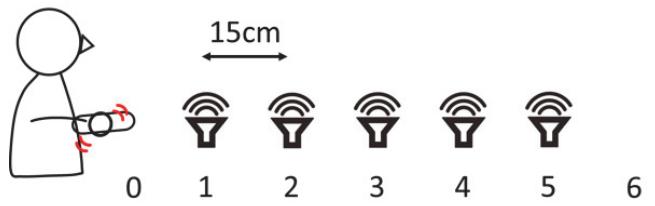


Fig. 2 Layout of loudspeakers and vibration actuator.

2.4 結果・考察

Fig. 3 に実験結果を示す。グラフの横軸は聴覚刺激を提示したスピーカの位置を、縦軸は被験者が聴覚的に知覚した音源位置を示す。エラーバーは標準偏差を示す。実験条件による違いを見るため Wilcoxon signed-rank test を用いて統計処理を行った。実験結果より、触覚刺激を提示しない振動無し条件(オレンジ色)においては、実際に音を提示したスピーカの位置が遠くなるに従って、被験者が知覚した音源位置も遠くなっていることがわかる。一方被験者の手元に振動を提示した振動あり条件(青色)においては、実際の音源位置にかかわらず、被験者は音源位置を手元に有意に近い場所に知覚していることが明らかになった。

本実験の結果より、聴覚の音源前後位置知覚は、手掌部への触覚提示によって劇的に手前側に知覚されることが明らかになった。被験者の中には実験後に種明かしをしても容易に信じない者もいるほどであった。興味深い内観報告として「あくまで音を頼りに回答したが、同期した振動が提示されると手元から音がなっているように感じられる」「どちらの条件も完全に正確には回答できていないと思うが、振動ありに比べて、振動無しの方は自分と音の間に隔たりを感じた」という報告を得た。

これらの結果と内観報告は、聴覚の前後方向の位置知覚においては、手に振動触覚として伝わる打撃時の衝突感が大きく寄与するのではないかという可能性を示唆している。ただし、本実験においては前後方向の位置が様々な音源に対して触覚刺激を重畠したところ、実際の音源位置にかかわらず全ての音源前後位置知覚が大幅に手前側に知覚された。

そこで次に、聴覚音源位置を手掌部に伝わる振動刺激の強弱で段階的に改変可能かを検証するため、提示する振動刺激の強度を様々に変えて同様の実験を行った。

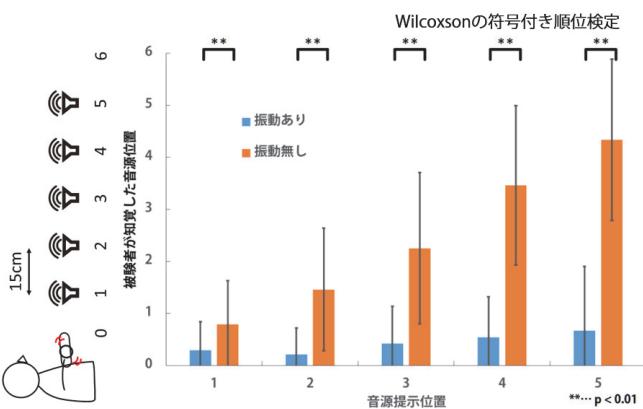


Fig. 3 Results of experiment 1.

3. 実験 2 強度の異なる触覚刺激による音源前後位置知覚改変

本実験は、聴覚の前後方向距離知覚を強度の異なる触覚刺激によって改変することを目的とする。実験 1 同様、被験者の前方に等間隔に 5 つのスピーカを設置し、いずれかのスピーカより音を提示し、被験者に音源の前後位置を回答させるタスクを行った。ただし、その際強度の異なる触覚刺激(触覚刺激大、中、小、なし)を手掌部より提示し、触覚刺激の強度によって改変される音源の前後位置知覚が異なるかどうかを検証した。

3.1 条件

振動条件として、提示される振動の強度が 4 段階に異なる条件(振動大、中、小、なし)を用意した。振動の強度は振動子への印加電圧によって規定し、振動大条件を 0dB(1 倍)とした時、振動中条件を -5dB(振動大条件に比して電圧比 0.56)、振動小条件を -20dB(振動大条件に比して電圧比 0.1)、振動子への電圧印加なし(振動無し条件)とした。聴覚及び触覚刺激の提示は物体を打撃した際に実際に生じる打撃音をあらかじめ記録し、その波形を PC から再生することで行った。各聴覚刺激提示用スピーカの音量は等しく設定した。触覚提示に関しては波形の高周波成分が音としても提示されてしまうことを防止するため、波形にローパスフィルタをかけ、高周波成分を除去したものを提示した。また各スピーカの高さを被験者の耳の高さに揃え、距離に応じた角度によって被験者が音源を推定することを防いだ(Fig. 4)。

実験開始とともに、着座した被験者の前方にある 5 つの聴覚刺激提示用スピーカの一つより打撃音を 700ms の周期で断続的に提示した。同時に 4 つの振動条件のいずれか(振動大、中、小、なし)を被験者が右手で把持し、振動を同時提示した。被験者は聴覚で知覚する音源の位置を各スピーカに付した番号(被験者手前側より 1

~5 番)を用いて回答した。また、音源の位置をスピーカ群より手前、あるいは奥に知覚する可能性を考慮し、スピーカ群よりも手前側に音源を知覚した場合 0 番、スピーカ群より奥に音源を知覚した場合 6 番を回答させた。試行回数は 5 音源位置 × 4 振動条件の 20 試行であり、提示順序はランダムであった。被験者は 11 名(女性 1 名、20~25 歳)であった。



Fig. 4 Overview of experiment 2.

3.2 結果・考察

Fig. 5 に実験結果を示す。グラフの横軸は聴覚刺激を実際に提示したスピーカの位置と提示した振動刺激の条件を、縦軸は被験者が聴覚的に知覚した音源位置を示す。エラーバーは標準偏差を示す。また触覚提示条件による違いを見るため、触覚提示条件間で多重比較(Bonfferoni 法)を行った。

実験結果より、触覚刺激を提示しない振動無し条件(各色グラフ群の右端)を音源提示位置ごとに比較すると、実験 1 の結果と同じく実際に音を提示したスピーカの位置が遠くなるに従って、被験者が知覚した音源位置も遠くなっていることがわかる。一方、同じ位置より音を提示した場合でも(各色グラフ内)、同時に提示される振動刺激が大きくなるに従って知覚する音源位置が手前側にシフトすることが判明した。

本実験の結果より、音源の前後位置知覚は、手元への振動触覚提示によって実験 1 同様手前側に知覚され、また提示される振動刺激の強度が強くなるごとに音源位置もより手前側に知覚することが判明した。このことから、左右の音源位置定位とくらべて劣るヒト聴覚の音源の前後位置知覚においては、手に打撃感として伝わる振動触覚が大きく寄与し、また触覚刺激の強度に応じて音源の前後位置知覚が変化するということが判明した。

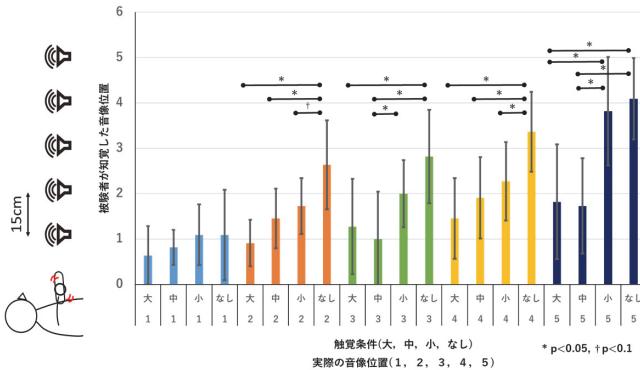


Fig. 5 Results of experiment 2.

4. おわりに

本稿ではこれまでに知られていた、物体を打撃する際に生じる打撃時の衝突感が、手掌部に伝わる振動によって対象物との位置、距離などを提示、改変可能であるという知見を元に、触覚刺激による聴覚の音源位置知覚改変に関する基礎検討を行った。特に、左右方向に比べて困難であるとされる対象物の前後方向の聴覚的な音源位置定位に着目し、打撃音を聴覚のみで提示した場合と、触覚刺激を附加した場合を比較し、音源の前後位置知覚が変化するか検証を行った。

実験の結果、聴覚のみで音源の前後位置定位を行う場合、実際に音を提示したスピーカーの位置が遠くなるに従って、被験者が知覚した音源位置も遠くなっていることが確認された。一方被験者の手元に振動を提示した条件においては、実際の音源位置にかかわらず、被験者は音源位置を手元に有意に近い場所に知覚していることが明らかになった(実験1)。また、聴覚刺激と同時提示する振動刺激の強度を様々に変えて同様の実験を行った所、提示される振動刺激の強度が強くなるに

従って音源位置もより手前側に知覚されることが判明した(実験2)。

これらのことから、左右の音源位置定位とくらべて劣るヒト聴覚の音源の前後方向位置知覚においては、手に打撃感として伝わる振動触覚が大きく寄与し、また触覚刺激の強度に応じて音源の前後位置知覚が変化するということが示唆された。

謝辞：本研究は JST-ACCEL「身体性メディア」プロジェクトの一環として行われた。

参考文献

- [1] 岡崎龍太, 梶本裕之：“手掌部への振動提示による触覚的距離推定”, 第15回 公益社団法人 計測自動制御学会システムインテグレーション部門 講演会, (2014年12月, 東京ビッグサイト), 2014.
- [2] 大山正, 今井省吾, 和氣典二:新編 感覚・知覚心理学ハンドブック 第III部 聽覚, 誠信書房, pp.983-1168, 1994.
- [3] Bruns, P., and Röder, B.: Tactile Capture of Auditory Localization: an Event-Related Potential Study; European Journal of Neuroscience, 31(10), pp.1844-1857, May, 2010.
- [4] Bruns, P., Spence, C., and Röder, B.: Tactile Recalibration of Auditory Spatial Representations; Experimental Brain Research, 209(3), pp.333-344, March, 2011.
- [5] Caclin, A., Soto-Faraco, S., Kingstone, A., and Spence, C.: Tactile “Capture” of Audition; Perception and Psychophysics, 64(4), pp.616-630, May, 2002.
- [6] 近藤雄治, 寺本渉, 小林まおり, 大谷真:“聴触覚相互作用が音像の距離弁別精度に与える影響”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 21(1), pp.49-52, 2016.
- [7] Tajadura-Jiménez, A., Välijamäe, A., Kitagawa, N., and Ho, H. N.: Whole-Body Vibration Influences on Sound Localization in The Median Plane; Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 224(10), pp.1311-1320, October, 2010..