

触覚刺激による聴覚強度知覚への影響

○岡崎 龍太(電気通信大学), 蜂須 拓(電気通信大学), 佐藤 未知(電気通信大学), 福嶋 政期(電気通信大学), 梶本 裕之(電気通信大学), Hayward Vincent(パリ大六大学)

Effects of Vibrotactile Stimuli to the Auditory Loudness Perception

○Ryuta OKAZAKI (UEC), Taku HACHISU (UEC), Michi SATO (UEC), Shogo FUKUSHIMA (UEC), Hiroyuki KAJIMOTO (UEC), and Vincent HAYWARD (UPMC)

Abstract: Few cases have been reported that tactile stimulation affects auditory perception. In this paper, we asked volunteers to compare the loudness and the frequency of combinations of vibrotactile and auditory stimuli. The results may suggest that auditory perception could be changed by adding tactile stimulation.

1. はじめに

昨今スマートフォンやタッチパッドの普及・高機能化, また Retina ディスプレイ(Apple,USA)に代表される超高品位ディスプレイ技術によって, 視覚を使った「モバイル環境下での高品位なコンテンツ鑑賞」が一つの流れとして確立しつつある.

一方, 従来聴覚的に高品位なコンテンツ鑑賞を支えていたのが多チャンネル・高性能スピーカに代表される高臨場体感音響技術である. これらの技術では重低音の補強・多スピーカによる音場の再現・身体広範囲への振動提示等によって臨場感を高めている. しかしながら, モバイル端末は大きさの制約上大型の装置や高性能なスピーカを搭載することが難しく, たとえ実装したとしても生活雑音にあふれたモバイル環境下ではその性能を発揮することは難しい. そこで著者らは従来とは異なる手法を用いてモバイル環境においても臨場感を確保することができないかと考え, 本研究の着想に至った.

2. 本研究の目的

本研究ではモバイル環境における聴覚の臨場感を増幅することを目的とし, 聴覚刺激の一部を触覚刺激で補強, 代替し, 「触覚を聴く」ことを実現する. 聴覚-触覚変換は難聴者への福祉用途で古くから提案されているが(触知ボコーダ[1]等), 本提案では触覚と聴覚のクロスモーダル現象に着目し, あくまで「聴覚知覚が触覚によってうける変化」を利用する. モバイル端末は聴覚刺激の品質が制限されるが, 常に端末を把持しているため触覚刺激にとっては大変都合の良い状況であることを利用し, 貧しい聴覚刺激が触覚刺激によってあたかも豊かになったかのように感じさせることを目標とする.

先行研究より, 触覚刺激に無関係な聴覚刺激を付加することで, 触覚の粗さ知覚に影響をおよぼすこと[2]や, 単一の周波数を持つ聴覚刺激と同じく単一の周波数を持つ触覚刺激を重畳することで, 聴覚の主観的強度に影響を与えること[3], 聴覚単体では知覚できない微小な音が触覚を付加することで知覚可能になること[4]などが知られている. これらの知見は, 触覚-聴覚間にクロスモーダル関係が成立することを示唆している.

そこで本稿では触聴覚間クロスモーダルの基礎的検討として触覚・聴覚知覚の基本要素である強度に着目し, 振動刺激が聴覚の主観的強度に与える影響について調べた. 次に強度と同じく触覚と聴覚の基礎的要素である周波数知覚に着目し, 触聴覚間クロスモーダルによる感覚の変化が生起する周波数条件について検討を行った.

3. 触覚刺激による聴覚の主観的強度変更実験

予備実験を通じてどのような状況で触聴覚間クロスモーダルによる感覚の変化が生起するかを調べた. その結果, 50-300Hz のバンドパスフィルタをかけた 1/f ピンクノイズを提示刺激として用いたとき, 触聴覚間クロスモーダルによって知覚される音量が変化しやすいことが判明した. これは 50-300Hz がヒトの可聴域と可触域に共通であるためと考えられる. そこでこの刺激を用いて聴覚の主観的強度が変化するかを検証した.

3.1 実験装置

PC, ヘッドホン(EX-29, DirectSound Headphones, USA), 振動子(Haptuator, Tactile Labs, CANADA), オーディオアンプ(model PCA1, Pyle Audio, USA)から成る実験装置を作製し, 実験に使用した. PC から出力された信号はそ

それぞれヘッドホンとアンプを介した振動子へと送られる。振動以外の触覚刺激を排除するため、振動子は滑らかなプラスチックケースの中に入れて使用した

(Fig 1).

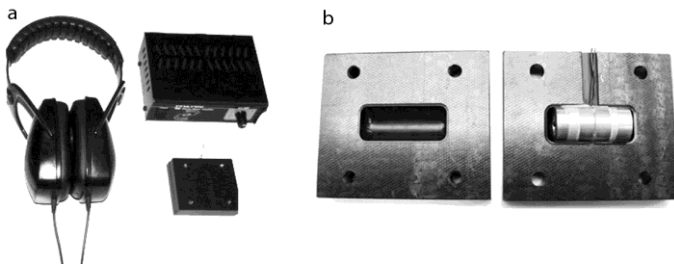


Fig 1. Experimental apparatus. a) Overview b) Vibrator.

3.2 実験条件

聴覚刺激に触覚刺激を付加した場合とそうでない場合で聴覚の主観的強度が変化するかを見るため、実験は聴覚刺激単体を聞き比べる条件(A-A 条件)と、聴覚刺激単体と聴覚刺激に触覚刺激を付加した刺激を聞き比べる条件(A-AT 条件)の二条件を用意した。各条件は基準刺激と比較刺激の組み合わせから成り、被験者は 2 つの刺激を聞き比べてどちらの音が大きく聞こえたかを回答した。

提示刺激として 50-300Hz のバンドパスフィルタをかけたピンクノイズが用いられた。基準刺激の強度は聴覚音圧が 50dB SPL, 触覚振動加速度が 2m/s^2 であった。比較刺激の聴覚強度は、47,48,49,50,51,52,53dB SPL であった。

3.3 実験手続き

実験には 4 名の被験者が参加した(男性, 26-39 歳, 触聴覚共に健常)。被験者は椅子に座り、ヘッドホンを装着し、振動子入りのプラスチックケースを両手で把持した。視覚刺激を排除するため、被験者はアイマスクを装着した。

被験者に基準刺激を 2 秒提示し、一秒の空白の後比較刺激を 2 秒提示した。その後、被験者は 1 番目に提示された刺激と 2 番目に提示された刺激のどちらのほうが大きく聞こえたかを口頭で回答した。これを 1 試行とし、A-A 条件では 7 条件を各 10 回試行、A-AT 条件では 7 条件を各 20 試行、計 210 試行を行った。順番効果による影響を避けるため、半分の試行では基準刺激と比較刺激の順番を入れ替えた。すべての試行はランダムに行われた。

4. 実験結果

A-A 条件, A-AT 条件共に順番効果は見られなかったため、条件内で結果を統合した。全被験者の平均値を

以下に示す(Fig 2)。グラフの縦軸は基準刺激よりも比較刺激のほうが大きいと回答した割合を示し、横軸は基準刺激と比較刺激の実際の強度差を示す。

得られた結果を累積正規分布関数ガウシアン関数

$$f(s, \sigma, \mu) = 1/(\sigma\sqrt{2\pi}) \int_{-\infty}^s \exp\{(x - \mu)^2 / (2\sigma^2)\} dx$$

でフィッティングし、聴覚強度の主観的等価点を求めた。ここで s は比較刺激の強度を、 μ は主観的等価点を、 σ は 84% 弁別閾値を示す。結果より、聴覚刺激単体と聴覚刺激に触覚刺激を付加した刺激を聞き比べた時、聴覚刺激の強度が物理的に等しくても、触覚刺激を付加した聴覚刺激のほうが主観的に強度が増すということが判明した。また、解析の結果触覚刺激を付加することで聴覚の主観的等価点は約 1dB 上昇することが判明した(Fig 2)。

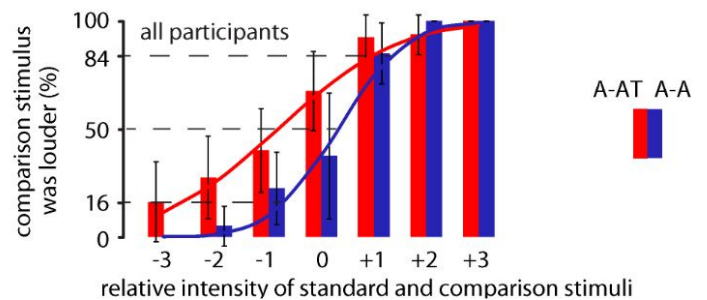


Fig 2. Results of Experiment 1

5. 触覚と聴覚の周波数対応実験

実験結果より、聴覚の強度知覚は触覚刺激によって変更が可能であることが示された。そこで今度は触聴覚のもう一つの基本要素である周波数知覚について、その対応関係の基礎的調査を行った。

5.1 実験装置

装置の構成は前実験と同様である。ただしヘッドホンと振動子をより高性能なものへと変更した。(QuietComfort, BOSE, USA 及び HaptuatorMARK2, Tactile Labs)。

5.2 実験条件

聴覚と触覚の周波数対応関係を調べるため、聴覚刺激(100,200,400,800Hz)を基準とし、それに対応する触覚刺激を 0-800Hz の範囲で被験者に調節させた。また、予備実験より、聴覚と触覚の周波数対応実験には学習効果が生じることがわかっていたため、1 被験者あたりの試行を 1 回に制限し、被験者間実験(28 名)を行うこととした。

5.3 実験手続き

被験者は椅子に座り、ヘッドホンを装着し、左手で

振動子を把持した。実験開始とともに基準となる聴覚刺激と、比較刺激となる触覚刺激が提示された。被験者は聴覚刺激と触覚刺激の周波数が主観的に等しくなるように触覚刺激の周波数を調整した。調整は50,10,1Hz刻みで自由に行わせた。制限時間は設けず、被験者が調整を終了したところで実験終了とした。

6. 実験結果・考察

実験の結果を示す。グラフの縦軸は周波数を示し、横軸は被験者を表す。青いグラフが基準となる聴覚刺激の周波数を示し、赤いグラフは被験者が調節した触覚刺激の周波数を表す(Fig 3)。

結果より、被験者が同一と判断した聴覚と触覚の周波数の高低は比例していないことが判明した。またヒトが触覚的・聴覚的に周波数判別可能な50-300Hzの周波数領域においてすら触覚と聴覚の周波数関係は比例しておらず、このことから、聴覚と触覚の周波数マッチングは周波数の高低のみで行われているわけではないことが示唆された。

さらに、内観報告からも興味深い意見が出た。それは提示された聴覚周波数の1/n倍あるいはn倍の周波数の触覚刺激が提示された時、実際の周波数の高低にかかわらず”しっくり感”を感じるというものであった。

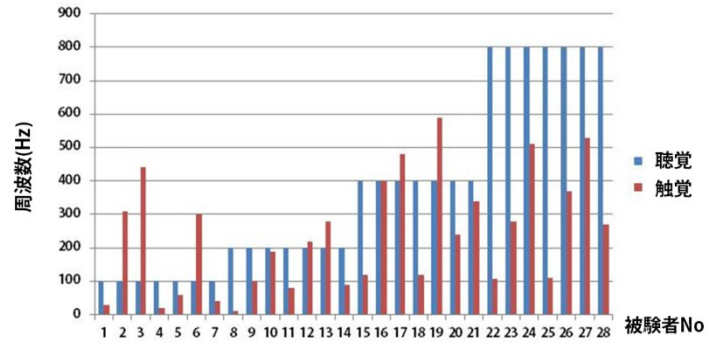


Fig 3. Results of experiment 2

7. おわりに

本稿では触覚－聴覚のクロスモーダルに着目し、基礎的知見として刺激の強度と周波数知覚について実験を行った。今後は、触覚と聴覚の周波数的な“しっくり感”に関して研究を進め、触覚刺激を用いて聴覚刺激を主観的に変調することを目指す。

8. 参考文献

- [1] 伊福部他. "心理物理実験によるタクタイル・ボコーダーの基礎的研究," 日本音響学会誌, Vol.31, pp.170-178, 1975.
- [2] Y. Suzuki et al. "Selective effects of auditory stimuli on tactile roughness perception," Brain Research, vol. 1242, pp87-94, 2008.
- [3] J.M. Yau et al. "Separate Mechanisms for Audio-Tactile Pitch and Loudness Interactions," Front. Psychology, Vol 1, No 160, 2010.
- [4] H.Gillmeister et al. "Tactile enhancement of auditory detection and perceived loudness," Brain Research, Vol 1160, pp.58-68, 2010.