

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 19 日現在

機関番号：10103

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23730693

研究課題名(和文) 視覚及び前庭覚による自己運動情報が聴覚空間形成に及ぼす影響の解明

研究課題名(英文) Effects of visual and vestibular self-motion information on auditory space perception

研究代表者

寺本 渉 (Teramoto, Wataru)

室蘭工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30509089

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：自己運動時には感覚入力は時々刻々と変化する。それにもかかわらず、我々は周囲の環境を安定的にとらえ、適切な働きかけを行うことができる。この知覚の背後には自己運動情報を巧みに利用した情報処理の仕組みがあると考えられる。本研究では、前庭情報と視覚的自己運動情報が自己運動時の聴覚空間形成において果たす役割を明らかにするための実験を行った。その結果、自己運動に関する前庭情報と視覚情報によって音空間が系統的に歪み、この歪みによって自己運動時の処理を最適化している可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：When we move in an environment, auditory input to our ears dynamically changes. This is likely to interfere with accurate sound localization because cues for auditory localization are primarily coordinated and centered on the head. Nevertheless, in reality, we perceive a stable auditory space. This requires that the brain interpret auditory signals in reference to signals about head and body movements. Here we investigated how visual and vestibular self-motion information affects auditory space perception. The results showed the systematic distortion of auditory space during visual and/or vestibular stimulation, suggesting the adaptive bias in the auditory system to avoid obstacles and any incoming dangers.

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：自己運動 ベクシオン 音源定位 視覚-前庭相互作用 多感覚相互作用

1. 研究開始当初の背景

近年、視野の広い範囲に高精度に視覚刺激を提示できる大型ディスプレイが普及し、詳細な周辺視野の機能が明らかになりつつある。その中で、空間内での自己位置や自己運動(どの方向にどのくらいの速さで進んでいるのか?)を知覚するうえで、周辺視野を含む視野全体の情報は、前庭情報と並んで重要な役割を果たしていることが指摘されている(例えば、Teramoto & Riecke, 2010; Teramoto et al., 2004; Warren et al., 2001)。それらの研究においては、視覚的な(あるいは前庭系によって)自己運動情報が与えられたときには、視覚空間に系統的な「歪み」を与え、自己進行方向側にある視覚対象にスムーズに働きかけを行えるよう調整していると報告されている。しかし、より現実的な環境では、視覚・聴覚・触覚など各感覚モダリティ間で密接な情報のやりとりをしており、視覚的な自己運動情報が視覚空間の形成に及ぼす影響を調べるだけでは、その処理過程の全貌を明らかにするには不十分であると考えられる。

そこで本研究では、周囲環境を把握するうえで視覚とともに重要な情報をもたらす聴覚に注目した。聴覚系は全方向的であるので、顔の前面方向の刺激のみを検出できる視覚情報以上に、自己運動時に周囲環境をモニターするための有効な手がかりとなっていると考えられる。その分、自己運動に合わせて聴覚空間を歪ませ、処理の最適化が行われている可能性があった。

2. 研究の目的

視覚的な自己運動情報が聴覚空間形成に及ぼす影響に加えて、前庭情報や視覚的な自己運動情報と前庭情報を組み合わせた情報(以下、(視覚+前庭)と表記)が聴覚空間形成に及ぼす影響についても系統的に調べ、自己運動時の聴覚空間の様相を総合的に解明することを目的とする。この手続きをとることによって、前庭系や視覚系由来の自己運動情報それぞれが聴覚空間形成過程に及ぼす影響の特徴を明らかにでき、自動車運転時の音情報提示技術開発だけでなく、今後の発展が予想される大型ディスプレイを用いたバーチャル・リアリティ技術への直接的な貢献が見込まれた。

3. 研究の方法

自己運動情報によって聴覚空間にどのように歪みが生じるのかを明らかにするため、心理物理学の実験手続きを用いた。前後方向の直線運動に関して、方向/加速度/速度という自己運動パラメータと聴覚刺激の提示空間位置(進行方向/進行方向反対側、聴取者近傍/遠方)を系統的に操作した音源定位実験を行った。また、自己運動の情報源として、(視覚+前庭)、前庭のみ、視覚のみの3種類を設定し、各条件の聴覚空間の「かたち」

を比較することによって、自己運動時の聴覚空間形成における視覚情報と前庭情報の統合メカニズムを明らかにすることを目指した。なお、前庭刺激は自走式車いす型装置によって提示した(図1)。前庭のみ条件では、被験者を閉眼状態で自走式車いす型装置に座らせ、(視覚+前庭)条件は、開眼状態で座らせて実験を行った。視覚のみ条件では、3次元映像の投影が可能な大型スクリーンに前後方向の自己移動をシミュレートした映像を投影し、自己運動感覚を誘発させ実験を行った(図2)。

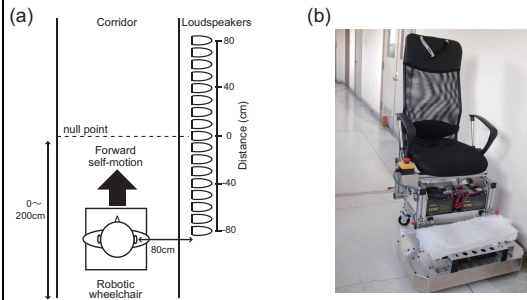


図1. 前庭条件での実験環境

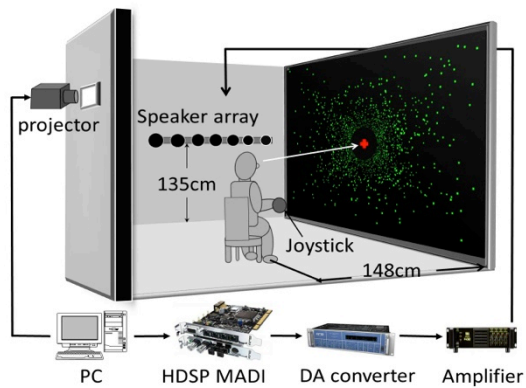


図2. 視覚のみ条件での実験環境

4. 研究成果

(1) 前庭自己運動情報の影響

聴覚末梢系へ入力される音情報は、聴取者の動きに応じて聴取者と音源との位置関係が変化することで、異なってくる。しかし、自己運動に伴って音情報の変化が発生した場合、我々は音源から発生される音情報自体が変わったと認識することなく、音源と自分自身との位置関係が変化したと認識し、難なく音源位置や方向を把握し、適切な行動を行うことができる。このことは、聴覚系が聴覚末梢系からの情報と聴取者自身の頭部や身体の運動情報を統合し、適切な解を得ていることを示唆する。事実、従来、前庭回転加速度刺激によって聴覚対象の定位に系統的な錯誤が生じることが知られている。しかし、日常我々が良く経験する直線加速度運動の影響については知られていない。そこで、本研究では直線等加速度自己運動が音空間知覚に及ぼす影響を検討した。

実験1では、被験者を自走式車椅子装置に乗せ、前方(Forward条件)または後方(Backward条件)に0.2または0.4m/s²で直線等加速度運動させた。聴覚刺激は、被験者の頭部位置があらかじめ決められた位置を通過した瞬間に、進路に沿って並べられたスピーカのいずれかから30ms間提示した。被験者は提示された音が自分の真横に対して前方・後方のいずれから聞こえたかを回答した。その結果、前進方向への直線等加速度運動中に自分の真横と感じられる音源位置が加速度の増加に伴って進行方向側に偏位することを示された。一方、後進方向への直線等加速度運動ではこの現象は生じず(図3)、速度による影響も受けなかった(実験2)。

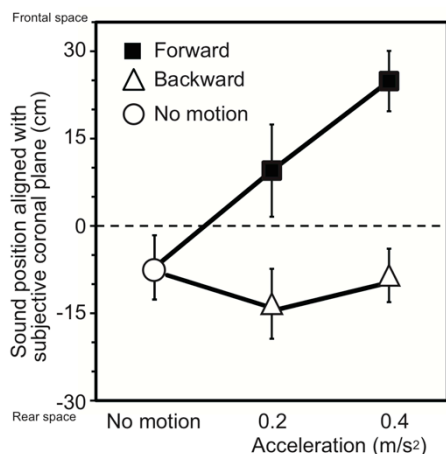


図3. 前庭刺激による音像定位ずれ

実験3及び4では前進直線等加速度運動中の進行方向側の音空間構造を調べた。被験者を自走式車椅子装置に乗せ、前方に0.4m/s²で直線等加速度運動させた。実験1および2と同様に、被験者の頭部位置があらかじめ決められた位置を通過した瞬間に、聴覚刺激を提示した。被験者は、聴覚刺激が提示されたとき、自分を中心にしてどちらの方向から聞こえたかを腿上に設置された25cmの長さの棒状ポインティング装置で報告した。

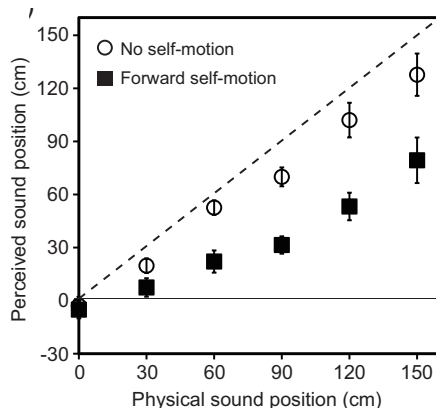


図4. 前進運動時の音空間の歪み

その結果、前進方向への直線等加速度自己運動時には、音空間が圧縮して脳内に表現さ

れている可能性が高いことがわかった(図4)。この効果は(視覚+前庭)条件でも同様に得られた。以上の研究成果は、PLoS ONE誌に誌上発表した。

(2) 視覚自己運動情報の影響

自己運動情報を与える感覚系を前庭系から視覚系に変更し、(1)と同様の実験を行った。視覚系は自己運動を知覚する上で非常に重要である。前庭系は加速度検出器であるため、脳が等速自己運動を検出するためには視覚情報が不可欠である。自己運動速度や方向、距離等を検出するうえでも、空間解像度の高い視覚系からの情報が極めて強い影響をもつ。また、前庭刺激の場合には、実際に被験者を動かしているため、音の提示時間(30ms)の間に両耳への入力情報は変化する。このことが原因で(1)の現象が生じた可能性も否めない。そこで、視覚的自己運動情報が聴覚情報処理に与える影響を検討することによって、前庭情報と聴覚情報のマルチモーダル効果の一般性および特異性を検証した。

実験5では、視野の広い範囲にランダムドットパターン(拡大または縮小)を提示して、ベクションを生起させ、前後方向への直線等加速度自己運動中に自分の真横と感じられる音の位置がどのように変化するか検討した。その結果、自分の真横と感じられる音の位置が進行方向側にシフトすること(すなわち、実際にはかなり進行方向側に位置している音を真横に知覚すること)が示された。また、この効果は前進時よりも後進時に顕著に認められた。実験6では加速度を変化させ(0.15および0.3m/s²)、加速度情報と自己運動情報それ自体(自己運動に関する主観的経験)のどちらが重要な役割を果たしているのかについて検討を行った。その結果、後進条件でのみ、加速度に比例して、真横に感じられる音の位置が後方にシフトすることが示された。実験7では、加速度刺激の代わりに等速度刺激を用いて、前庭による自己運動情報と視覚による自己運動情報の齟齬が少ない状況で実験を行った(等速運動時には前庭系は作用しないため)。その結果、この状況でも、後進条件でのみ真横に感じられる音の位置が後方にシフトすることが示された。以上から、前庭直線加速度刺激時には前進運動時のみ、視覚による自己運動知覚時には後進時のみこの現象が生じることがわかった。一般に、視覚情報しか与えられない場合には、前進の自己運動は、後進よりも知覚されにくいと報告されている。これは、前進は日常よく経験する運動であるため、視覚系と前庭系が強く結びついており、視覚入力しかない場合には前庭系からの抑制が強く働くためとされる。また、視覚系は同一の網膜像から物体運動と自己運動を切り分ける必要があるため、特に拡大パターンが与えられたときには、自己運動情報としてよりも、危機回避上有利な接近「物体」情報として処理されやす

い可能性も指摘されている。したがって、視覚情報による自己運動知覚時の結果は、このような自己運動処理の運動方向による非対称性が働き、後進時にのみ顕著に現れた可能性が高い。一方、前庭刺激時には、この視覚系の非対称性を補うべく、前進自己運動に対する感受性または情報の重み付けが高められており、比較的弱い刺激を用いた本研究においては、前進時にのみ現れ、後進時には現れなかった可能性が考えられる。これらは今後さらに検討していく必要がある。

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 8 件)

①寺本涉 (2013) 直線加速度自己運動時の音空間の歪み. 基礎心理学研究, 32(1), 1-6.
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009685444>

【招待講演論文, 査読無】

②寺本涉, 茂石一樹, 崔正烈, 坂本修一, 行場次朗 (2013) 視覚的自己運動情報による音空間の歪み. 日本バーチャルリアリティ学会研究報告, vol. 18 (VRpsy01), 19-22.
<http://jglobal.jst.go.jp/public/20090422/201302292945786472> 【査読無】

③Teramoto, W., Sakamoto, S., Furune, F., Gyoba, J., & Suzuki, Y. (2012) Compression of Auditory Space during self-motion. *PLoS ONE*, 7(6): e39402. DOI: 10.1371/journal.pone.0039402 【査読有】

④崔正烈, 寺本涉, 坂本修一, 岩谷幸雄, 鈴木陽一 (2012) ベクシオンが頭部前後における水平方向の音像定位に及ぼす影響. ヒューマンインターフェイス学会誌, vol. 14, 41-48.

<http://ci.nii.ac.jp/naid/40019532650> 【査読有】

⑤寺本涉, 古根史雅, 坂本修一, 行場次朗, 鈴木陽一 (2012) 自己運動に伴う音空間の圧縮. 日本音響学会聴覚研究会資料, 42(1), 11-16.

<http://ci.nii.ac.jp/naid/40019203096> 【査読無】

[学会発表] (計 12 件)

①Sakamoto, S., Teramoto, W., Suzuki, Y., & Gyoba, J. (2013) Auditory space perception during active/passive self-motion. 9th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP 2013), October 16-18, Beijing, China.

②Teramoto, W., Cui, Z., Moishi, K., Sakamoto, S., Suzuki, Y., & Gyoba, J. (2013) Distortion of auditory space during linearvection. European Conference on Visual Perception, August 25-29, Bremen, Germany.

③Sakamoto, S., Teramoto, W., Furune, F., Gyoba, J., & Suzuki, Y. (2013) Compression of perceived auditory space during uniformly-accelerated forward self-motion (invited lecture). June 2-7, The 21st International Congress on Acoustics, Montreal, Canada.

④Teramoto, W., Cui, Z., Moishi, K., Sakamoto, S., Suzuki, Y., & Gyoba, J. (2013) Distortion of auditory space during visually-induced self-motion. International Multisensory Research Forum, June 3-6, Jerusalem, Israel.

⑤Teramoto, W., Furune, F., Sakamoto, S., Gyoba, J., & Suzuki, Y. (2011) Distortion of auditory space during linear self-motion. International Multisensory Research Forum, October 17-20, Fukuoka, Japan.

[その他]

ホームページ等

<http://cas.csse.muroran-it.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺本 涉 (TERAMOTO, Wataru)

室蘭工業大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30509089