

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：33934

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00263

研究課題名(和文) 自己運動中の音空間知覚における空間非対称性

研究課題名(英文) Spatial asymmetry in auditory spatial perception during self-motion

研究代表者

山高 正烈(崔正烈)(CUI, Zhenglie)

愛知工科大学・工学部・准教授(移行)

研究者番号：60398097

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、種々の自己運動知覚中に見られる聴知覚特性の様相、とりわけベクションを知覚する場合の音空間知覚の特徴について、空間非対称性を中心にその特性の解明を目指した。研究の結果、上下方向の自己運動の場合は、環境中心座標系に限って音像をベクション方向とは反対側に知覚され、自己運動知覚時に対象物の位置を本来より自己の近くに定位するという言わば危険回避のメカニズムが働く可能性が示された。また、高精度な3次元聴覚ディスプレイの応用を想定する身体近傍空間の範囲と自己運動の速度との関係を調べ、能動運動時には身体近傍空間拡大の効果が比較的小さいこと、また、運動速度による影響はそれほどない可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、種々の自己運動知覚中に見られる聴知覚特性の様相、とりわけ視覚誘導性自己運動を知覚する場合の音空間について、空間非対称性を中心にその知覚特性の解明を目指した。本研究の結果、参照する座標系の不同により音空間知覚の様相が変わり得ること、また、視覚刺激のみによって得られる自己運動感覚は、前庭系への入力有する場合と比べて音像定位の偏位幅が小さく空間知覚の非対称性の影響が表れにくいこと、能動運動時には身体近傍空間が拡大する等の基礎データと知見が得られた。これらの研究結果は、身体が動く場合の音空間知覚の新たな知見を提示するものであり、高い学術的インパクトを持つ成果である。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to clarify the characteristics of auditory spatial perception during self-motion. In the spatial characteristics of auditory spatial perception, the sound localization and the effect of spatial frames of reference was examined during the perception of vection. As a result, we found that the perceived position of a sound was shifted to upper in a few degrees when observer perceived vection to the downward direction. And the auditory targets were mislocalized in the direction of vection when the egocentric coordination condition. It was suggested that auditory localization can be altered depending on which representation would be used.

Moreover, we investigated whether active and passive self-motion differentially affect PPS (peripersonal space). The results revealed that the visual probe significantly facilitated the tactile detection at all distance condition, suggesting that PPS expand during self-motion.

研究分野：バーチャルリアリティ, ヒューマンコミュニケーション

キーワード：音空間知覚 自己運動 バーチャルリアリティ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

バーチャルリアリティ技術の発展に伴い、時空間を超えた自然で臨場感溢れる空間提示システムへの期待が高まりつつある。このようなシステムにおいては、視聴覚をはじめとするマルチモーダル感覚情報を如何に精度高く忠実に再現するかが重要と考えられ、システムの高精細・高解像度化が進められていた。一方、どのような情報通信システムであっても、人間はそれらの両端に位置する究極な端末であり、高度なバーチャルリアリティシステムを実現するためには、人間の情報処理の仕組みを理解し、その知見をシステム構築に反映すべきである。即ち、高臨場感バーチャルリアリティシステムを構築するためには、物理指標の充実した再現はもとより、知覚空間及びその特徴を考慮した情報提示が重要であると考えられる。

このような観点に基づき、例えば、頭部運動によって音像定位の精度が向上するという聴覚特性を活かして、頭部運動に対応した音入力を有する 3 次元聴覚ディスプレイの高度化を目指した研究が行われている。また、意識的・積極的な頭部運動ではなく、人間の無意識で自然な頭部運動に着目し、頭部の微小運動の様相と 3 次元音空間知覚におけるリアリティとの関連を調べた研究も行われつつある。このように、静止状態だけでなく、身体が動く場合の音空間知覚の特性解明は、3 次元聴覚ディスプレイの高度化につながり、極めて重要と考えられる。

### 2. 研究の目的

我々が行った先行研究からは、水平方向の視覚ベクション知覚と同時に前庭系への入力を付加提示させることによって、音像定位の偏位が顕著に現れる現象が明らかとなった。興味深いところは、この偏移が自己運動方向の反対側に限って現れることであった。しかし、このような聴覚特性の生起要因と空間特性、及び、体性感覚を含む多感覚モダリティとの関連と役割等については不明なところが多かった。本研究では、種々の自己運動知覚中に見られる聴覚特性の様相、とりわけ視覚誘導性自己運動感覚(ベクション)を知覚する場合の音空間知覚について、空間非対称性を中心にその特性の解明を目指した。

### 3. 研究の方法

本研究では、自己運動知覚時における「音空間知覚の空間非対称性」という聴覚特性の様相について、モダリティ不同による効果の有無、能動・受動自己運動知覚時の空間特性、及び、近方空間の知覚特性等の側面から検討した。本研究における音像定位実験は、本研究課題遂行のために構築した図 1 に示す実験環境を使用して行われた。

前述のように、本研究の目的を実現するために必要な要件は、音像定位に影響を及ぼす時空間特性の解明とモダリティ不同による効果の有無、及び、3 次元聴覚ディスプレイへの応用を見据えた近方空間の知覚特性を明らかにすることであった。そこで、具体的な研究テーマとして(1) 正中面方向における参照枠不同による音像定位の空間特性、(2) 自己運動の速度による身体近方空間の変容、(3) 能動・受動自己運動の空間特性、(4) 聴覚運動刺激による自己運動の促進効果といった 4 点を掲げて研究を進めた。

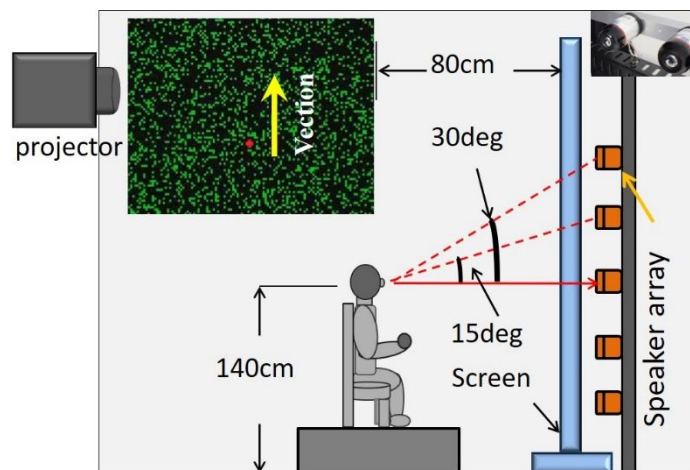


図 1 音像定位実験環境

### 4. 研究成果

#### (1) 正中面方向における参照枠不同による音像定位の空間特性

視覚刺激の提示によって生起する自己運動感覚(ベクション)が音空間知覚に及ぼす影響については、従来から数多くの研究がなされてきたが、これまで行った研究のほとんどは等速運動を伴う視覚パターンを使用しており、視覚刺激によって加速運動を知覚する場合の音像定位の様相については不明なところが多かった。また、空間にある対象位置の脳内表現の仕方には、自分自身の身体軸を基準とする表現(自己中心座標系)と、自己以外の空間内の対象を基準とする表現(環境中心座標系)の 2 通りがあり、どちらの表現を用いるかで異なる空間定位が行われる可

能性が考えられるが、両者の特徴を比較した検討は今までなされてこなかった。

そこで、前庭系への入力なしに加速度感覚を有した場合の、上下方向自己運動時の音像定位の様相を明らかにすることを目的に、視覚ベクションによって得られる上下方向の加速度感覚が音像定位にどのような影響を及ぼすかについて、空間表象の参照枠による違いを含めて、図1の実験環境を用いて検討した。

研究の結果、自己中心座標系では音像定位の変位が見られず、自己運動との結びつきが弱いことが明らかとなった。自己中心座標系の場合は、運動する視覚刺激を自己運動ではなく物体移動（物体の落下や上昇等）にコーディングされる可能性が示唆された。一方、環境中心座標系では自己中心座標系で見られる座標軸不同による「負荷」は生じず、音像定位の精度が比較的高く、音像を自己運動方向とは反対側にシフトして定位する結果が得られた。これは、自己運動を知覚する場合に、対象物の位置を本来の位置より自己の近くに定位することで衝突回避準備時間を設けるといって、危険回避予測のメカニズムが働く可能性を示唆するものである。

更に、先行研究の結果と異なり、前庭系への入力を有しない視覚刺激のみによって得られる自己運動の場合は、音像定位の偏位の幅が小さく、自己運動方向と同側と対側のいずれの空間においても音像定位の偏移が表れた。単一モダリティの場合は、ベクション知覚におけるジッタ的な役割が働かず、また、注意効果の空間選択性が働き難い可能性が示唆された。

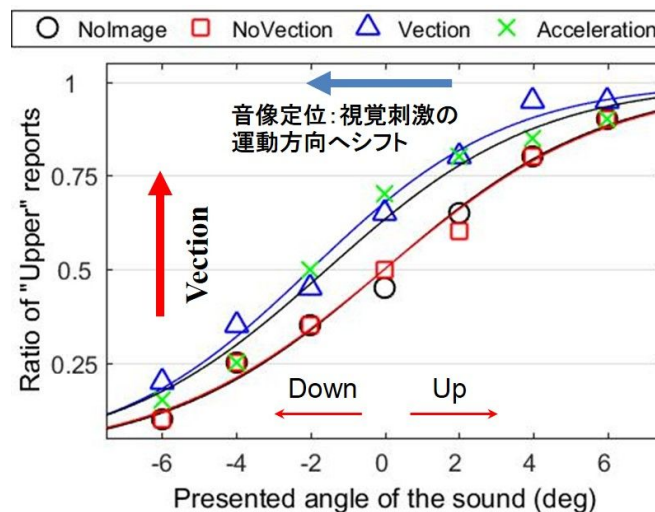


図2 実験結果（環境中心座標系を用いた場合）

## (2) 自己運動の速度による身体近方空間の変容

我々の身体を取り囲む空間は、身体近傍空間と遠方空間に大別でき、身体近傍空間（peripersonal space, PPS）は、通常身体表面から数 cm から数十 cm の範囲の空間のことを指す。自己運動時には、この PPS が拡大するとの知見が示されているが、PPS に及ぼす自己運動速度の影響を検証した研究はない。そこで、高精度な 3 次元聴覚ディスプレイの応用を想定する身体近傍空間の範囲と自己運動の速度との関係を検討した。

研究の結果、静止時の PPS の境界は 1.3 ~ 1.95 m の間にあることが分かった。また、自己運動時には、最大距離 3.9 m まで触覚検出促進効果が見られたが、自己運動の速度による PPS の境界の差は認められなかった。これらの結果は、自らの運動時には PPS 拡大の効果が比較的小さいものであること、また、運動速度による影響はそれほどない可能性を示唆する。

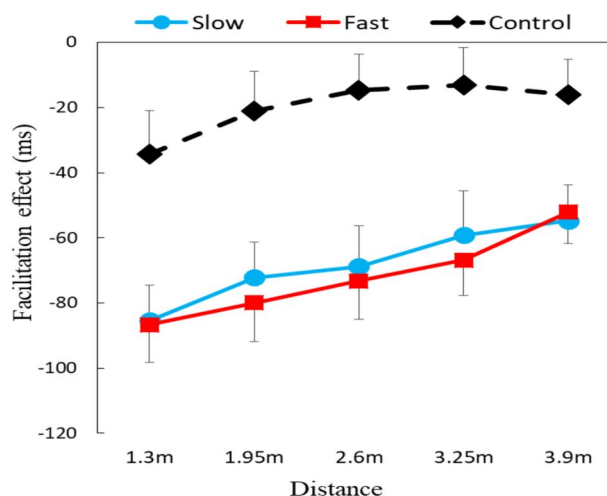


図3 実験結果（各条件における反応時間）



### (3) 能動・受動自己運動の空間特性

身体周辺のすぐそばの空間である身体近傍空間 (peripersonal space, PPS) は、我々が外界と関わる上で極めて重要な空間である。PPS は特定の多感覚神経細胞群によって表現されており、PPS 内では強い多感覚相互作用が生じる。この多感覚相互作用を指標とした研究では、PPS には可塑性があり、自己運動知覚時には拡大することが示されている。しかし、自己運動に関連するどの情報が PPS の拡大に寄与しているかは明らかではない。そこで、能動および受動自己運動による違いを調べた。

実験では、ヘッドマウントディスプレイに前進映像を提示し、自己運動知覚を生起させた。その際に、映像に合わせてエアロバイクを漕ぐ能動条件と、漕がない受動条件を設定した。実験の結果、両条件で測定距離すべてにおいて有意な触覚検出促進が見られた。また、能動条件ではより強い触覚検出促進が惹起された。これらの結果は、能動運時に特有の運動指令信号や自己受容情報が PPS の拡大に寄与することを示唆する。

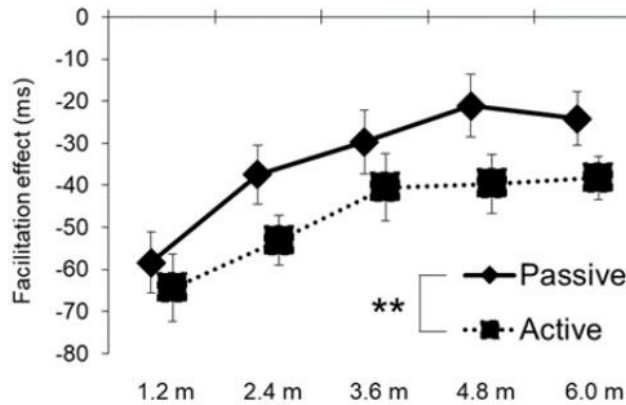


図4 実験結果 (能動・受動条件の反応促進程度)

### (4) 聴覚運動刺激による自己運動の促進効果

これまでの先行研究からは、ベクシオン生起には外部刺激属性だけでなく観察者側の属性も影響を与えることが明らかとなった。例えば、加齢による回転性ベクシオンの強度増加が知られており、前庭系末梢の有毛細胞減少に伴う前庭機能低下、及び、それによる視覚と前庭の相互作用の変化がその一因と考えられていた。また、性差についても報告されており、回転性ベクシオンは男性よりも女性の方が生起しやすいという報告がなされている。その原因としては、性ホルモンの関与や視覚と前庭の相互作用自体に性差がある可能性、また、女性が男性よりも三半規管・耳石器のサイズが小さく有毛細胞数が少ないため、女性の方が前庭情報よりも視覚情報に重みをおいた処理を行っている可能性等が指摘されている。

このように、外部刺激属性と観察者側の属性それぞれについては多様な検討が見られる一方、その相互作用についてはほとんど知られていない。本研究では、聴覚刺激が視覚ベクシオンに与える影響の性差に着目した。そこで、左右方向への直線ベクシオンと聴覚運動刺激を用いて、ベクシオンへの音の効果の生物学的性差について調べた。

実験の結果、ベクシオンに対する音の効果に性差の影響がある可能性が示唆された。即ち、自己運動感覚の持続時間に関して、女性は男性よりも有意にベクシオンへの音の効果が大きい可能性が見出された。女性のみ自己運動感覚の持続時間が促進されたことから、女性は自己運動を知覚する上で、男性に比べて環境からの情報である聴覚情報にも重みをおいていることが考えられる。また、視聴覚条件のみで男女差が認められたことは、視聴覚情報を同時利用できる場合に、ベクシオンの性差による影響がより顕著になる可能性が示された。

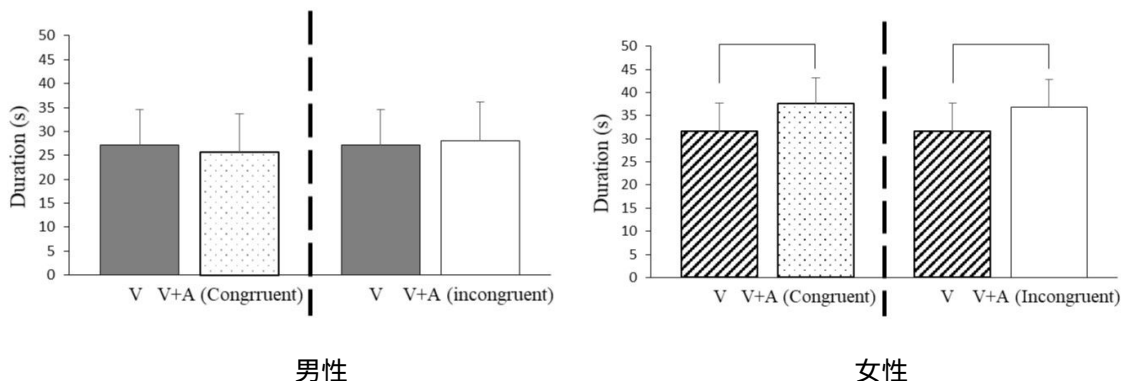


図5 実験結果 (V 条件と V+A 条件における 75dB 音の比較)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 黒田尚輝, 寺本渉	4. 巻 24
2. 論文標題 自己運動速度が身体近傍空間の範囲に及ぼす影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 325-328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 黒田尚輝, 寺本渉	4. 巻 24
2. 論文標題 聴覚運動刺激によるベクシヨンの促進効果の性差	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 329-334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 黒田尚輝, 寺本渉	4. 巻 HIP2019-85
2. 論文標題 能動・受動自己運動時の身体近傍空間	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術報告	6. 最初と最後の頁 43-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kuroda, N., and Teramoto, W.
2. 発表標題 Object-motion and self-motion differently affect peripersonal space representation
3. 学会等名 Asia Pacific Conference on Vision (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒田尚輝, 寺本渉
2. 発表標題 自己運動知覚時の自己受容感覚情報が身体近傍空間表象へ与える影響
3. 学会等名 日本基礎心理学会第38回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒田尚輝, 寺本渉
2. 発表標題 自己運動速度による身体近傍空間への影響
3. 学会等名 日本心理学会第84回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 崔正烈, 寺本渉, 坂本修一, 鈴木陽一
2. 発表標題 上下ベクシオン知覚時の正中面音像定位
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第23回大会論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒田尚輝, 寺本渉
2. 発表標題 自己運動速度の違いにおける身体近傍空間への影響
3. 学会等名 第37回日本基礎心理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 崔正烈
2. 発表標題 音から生成した全身振動による高次感性評価の増強効果
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第22回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 崔正烈
2. 発表標題 多感覚コンテンツの音情報から生成した振動の高次感性促進効果
3. 学会等名 第九回多感覚研究会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	寺本 渉  (Teramoto Wataru)  (30509089)	熊本大学・大学院人文科学研究部(文)・教授    (17401)	