

ベクショ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

崔正烈*1 寺本渉*2 坂本修一*1 岩谷幸雄*1 鈴木陽一*1

The effect of self-motion perception on horizontal sound localization in front and rear spaces

Zhenglie Cui*1 Wataru Teramoto*2 Shuichi Sakamoto*1 Yukio Iwaya*1 and Yôiti Suzuki*1

Abstract – During self-motion, the spatial relationship between objects and the observer changes from moment to moment. In such a situation, self-motion information is considered to be one of useful cues to accurately localize sound source positions. In the present study, we conducted two experiments to investigate the effects of visually-induced self-motion perception (vection) on sound localization in front and rear hemispheres. As a result, we found that the perceived position of a sound in the rear hemisphere was shifted in a few degrees in the direction of perceived self-motion. In the front hemisphere, however, no effect of self-motion information was observed. These results suggest space-dependent contribution of self-motion information to auditory spatial perception.

Keywords : self-motion perception, sound localization, spatial localization

1. はじめに

人間は、空間内で音イベントが発生したときに、すぐに音の空間位置を把握し、その方向へ顔を向けることができる。これは、音が左右の耳に到達するまでの時間差 (interaural time difference: ITD) や音圧レベル差 (interaural level difference: ILD), 頭部伝達関数に起因するスペクトルキューなどを手がかりに行われる音像定位能力^{[1][2]}である。このような音像定位を行うためには、自己と音源との相対位置関係に加え、自分自身の空間における位置情報も重要であると考えられる。

本研究においては、このような自分自身の空間における位置情報の変動が、聴覚的空間定位にどのような影響をもたらすのかについて検討を行う。そのために、視野の広い範囲に流動的に変化するランダム・ドット・パターンを提示して視覚誘導性自己運動感覚 (ベクション^[3]) を知覚させ、同時に提示した音像定位がどのように変化するのかを調べた。ベクションを知覚する場合においては、自分自身が実際には静止しているにもかかわらず、あたかも視覚刺激の運動とは反対方向に動くような感覚が生じるため、自己中心座標系は常に変動する。このとき、空間に音源を固定すると、自分自身と音源との相対位置関係にずれが生じるため、このずれの補正を行って音像定位を行う可能性が考えられる。

この主観的な座標軸のずれが、音像定位にどのよう

な変化をもたらすのかについては、従来から様々な議論がなされてきた。例えば、Wallach^[4]は、聴取者に自分自身の身体軸を中心に回転するヨーベクションを与えた場合、音像定位がどのように変化するのかを調べた。その結果、回転ベクションの影響により、正中面の目の高さの位置に提示した音源を、頭上にシフトして知覚する傾向があることを示した。Wallachは、正中面に提示した音が左右の耳に到達するまでのITDとILDは元々ゼロであり、ベクション知覚時には両者がほぼゼロになる位置が頭上と真下しかないため、音像を頭上にシフトして定位されるようになったと考察した。Thurlowら^[5]もベクション知覚時の音像定位の変化を調べ、広視野に運動する視覚刺激の提示によって自己運動感覚が生起され、それによって音像定位に錯誤が生じることを示した。

寺本ら^[6]による、視覚刺激と音像運動検出閾の関係性を調べた研究からは、ベクションを生起させる広視野視覚運動刺激が音像運動知覚に影響を及ぼすこと、また、その影響の与え方には2種類存在し、視覚刺激の運動方向と同方向への音像運動感覚が生じるパターンと、逆に、視覚刺激と反対方向の音像運動感覚が生じやすいパターンに分かれることが示された。このように、ベクションを知覚することにより、音像の運動感覚が生じしやすく、音空間知覚において、身体的手がかりが重要な役割を担っていると考察されている。

一方、McAnallyら^{[7][8]}は、ベクション知覚が音像定位にほとんど影響を及ぼさないと主張している。彼らの実験においては、フライトシミュレータを用いて回転ベクションを生起させ、垂直方向および水平方向の音像定位がどのように変化するのかを調べた。そ

*1: 東北大学 電気通信研究所

*2: 室蘭工業大学

*1: Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

*2: Muroran Institute of Technology

の結果、ベクシオン知覚の有無にかかわらず、音像定位がほとんど影響を受けないことが示された。上述の Wallach の実験結果と異なった理由については、実験で用いた音刺激が異なることと、ヘッドホンを通して音刺激を提示したため、頭内定位の可能性があったことなどが挙げられる。崔ら^[9]の、ベクシオン知覚時における音像運動の知覚について調べた実験結果からも、被験者間でばらつきがあるものの、ベクシオン知覚の有無によって音像の移動感に一貫した違いが生じないことが示された。

以上のように、ベクシオン生起による聴覚的な空間定位への影響については、いくつか議論があるものの、未だ統一した見解はない。また、これらの研究はすべて、音刺激の提示位置が聴取者の前方に限られており、後方空間は扱っていない。我々人間の視野は、頭部前方に限られているが、聴覚の範囲は全方位に広がっている。このため、頭部前方の視野範囲内の空間定位については、視覚が聴覚より優位に働く可能性があるものの、頭部後方については、頭部を回転させない限り視覚による情報取得が不可能であるため、空間定位は聴覚で先に行われる可能性が考えられる。即ち、視覚情報の影響を強く受けると考えられる頭部前方空間と、身体軸の回転なしでは視覚による情報取得ができない頭部後方とでは、音像定位の様相が異なる可能性が高い。そこで、本研究では、ベクシオンが音像定位にどのような影響を及ぼすのかについて、頭部の前方空間と後方空間の違いに着目して調べることにした。

本研究では、音像定位を調べる際に、基準音と刺激音との位置関係を回答させる課題を用いた。従来、空間にある対象位置の脳内表現の仕方には、大きく2通りあると考えられてきた。一つは、自分自身の身体軸を基準とする表現 (egocentric coordination) であり、二つ目は自己以外の空間内の対象を基準とする表現 (allocentric coordination) であり^{[10][11]}、どちらの空間表現を用いるかで異なる空間定位が行われる可能性が指摘されている^{[12][13]}。ベクシオン知覚の音像定位への影響を調べた従来の研究では、ポインティング課題など音像位置が自分の身体位置を基準としてどこにあるのかを示させる egocentric coordination における作業課題が多かった。今回のような allocentric 的な作業課題を用いることで、音像定位という知覚過程において、これまで明らかとなっていない、外部の対象物を基準とした場合の自己身体軸の移動感覚の影響が明らかになることが期待される。さらに、頭部前方と後方とで完全に一致した作業課題で実験を行うことができる。本研究では、このような課題を用いて、ベクシオン知覚が頭部前後の水平方向の音像定位にどのような影響を及ぼすのかについて調べた。実験1では

頭部前方の視野範囲内に音刺激を提示した場合、実験2では頭部後方に音を提示した場合について調べ、これら音刺激の空間的配置の違いによる影響を比較した。

2. 実験1 - 頭部前方の音像定位

2.1 目的

自己の移動感であるベクシオンを体験することが、視野の前方に提示した水平方向の音像位置の知覚にどのような影響を及ぼすのかについて検討する。

2.2 実験環境

実験環境の概略を図1に示す。被験者は、天井と床面、前後と左面を吸音材 (平板ポリエステル不織布、密度 32 kg) で、右面は厚くて黒いカーテンで囲んだ空間内のイスに座り、正面に向かい合うように設置された 150 インチの大型音響透過スクリーン (キクチ科学, Stewart サウンドスクリーン) を観察した。スクリーンには、前方に設置したプロジェクタ (PDG-DHT100JL: SANYO) を通して、ランダム・ドット・パターンを提示した。プロジェクタの騒音による音像定位への影響を排除するために、プロジェクタは完全に隔離された別の部屋に取り付け、騒音防止用ガラスを通して投射した。

被験者とスクリーンとの距離は 150 cm、目の高さは 125 cm に設定した。1つのドットサイズは 0.5×0.5 deg の緑 (65 cd/m²) であり、密度は 20% であった。ランダム・ドットを提示する領域はスクリーンの全面で、大きさは 90 (横) \times 74 (縦) deg であった。ドットはスクリーンを向かって左の方向へ、一定の速度 (10 deg/s) で移動させた。ドットの移動速度は、予備実験を通じて、本実験環境で被験者のベクシオン潜時がなるべく短くなるように調節して決めた。ランダム・ドットは、グラフィック・ライブラリ API である OpenGL^[14] を使用して生成した。

音響透過型スクリーンの背後には、スピーカを取り付けるための台を設け、床面から高さ 125 cm の位置に、7個のスピーカを水平方向に並べて取り付けた (図2参照)。これらのスピーカは、直径 3 cm のソフトエッジタイプのユニット (ホシデン, 7N101) を小型の円筒形のプラスチックケースに取り付けたものである。実験条件として、被験者の頭部中心 (正中面) を基準とした場合と、正中面より左あるいは右へそれぞれ 10 deg ずつシフトした計 3 点を基準とした 3 つの基準条件 (基準音源位置 0, ± 10 deg) を設けた。3 つの基準音の位置は、我々が行った先行研究^[15]において、egocentric 的な作業課題を実施した場合のベクシオン知覚による頭部前方の音像定位への影響が、視野の中心領域 ($-10 \sim +10$ deg の範囲) に限って顕著に表れた実験結果を踏まえて決めた。スピーカは、各

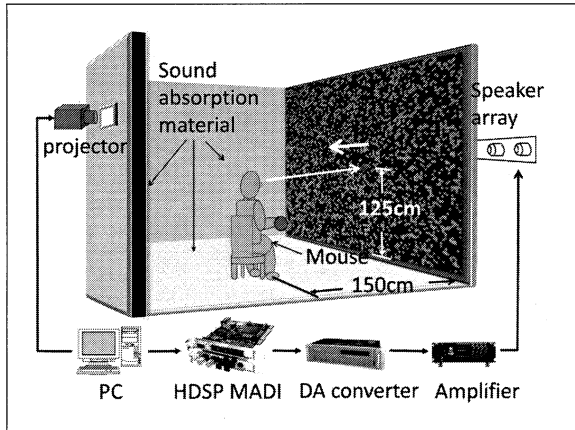


図1 実験環境
Fig. 1 Experimental environment.

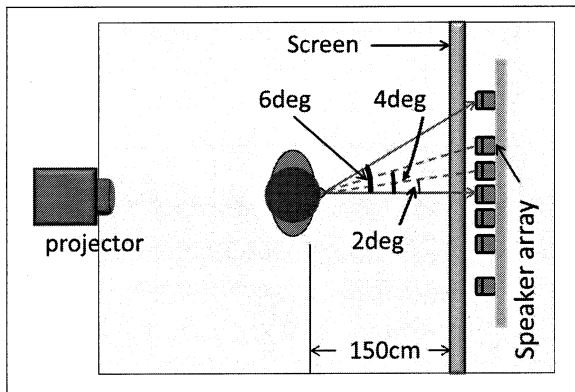


図2 設置したスピーカの様子 (上面図)
Fig. 2 A state of the speaker array (top view).

基準音源位置の左右 0, ± 2 , ± 4 , ± 6 deg に、7個ずつ設置した (+はスクリーンを向かって右方向, -は左方向を指す)。

視覚刺激及び音刺激の制御用 PC (Precision T3500: DELL) には、24 チャンネルデジタル音信号の入出力が可能なオーディオ・インタフェース (HDSP MADI: RME) を搭載し、光ケーブルにより、DA コンバータ (M32-DA: RME) 及びパワーアンプ (MP-3016: 三島プランニング) と接続した。多チャンネル音信号の制御には、マルチメディア API を使用し、DA コンバータとアンプを経由して、各々のスピーカに、持続時間 200 ms、音圧レベル 50 ± 2 dB のホワイトノイズバーストを出力した。1本の光ケーブルは、8チャンネルの独立した音信号の転送が可能である。

2.3 実験手順

被験者にはスクリーンの中央、目の高さの位置に設置した赤色の十字の注視点を注目するように教示した。実験は、注視点のみの提示条件 (NoImage) とベクションが生じない刺激条件 (NoVection), ベクションが生じる条件 (Vection) の計 3 つの視覚条件を設

けた。NoVection 条件は、先行研究^[16]を参考に、ランダム・ドットを 2 s 間のみ提示 (左方向へ移動) した。Vection 条件では、被験者がジョイスティックのボタンをクリックしてベクション状態に入ったことを報告するまで、ランダム・ドット・パターンを左方向に流し続けた。なお、実験に先立って、被験者にはベクション現象についての説明を行い、被験者全員が、ベクション条件とベクションなし条件との区別を理解することができた。また、前述のように、大画面スクリーンを使用したため、視野角は 90 deg と広く、被験者全員がほぼ 10 s (9.5 ± 0.3 S) 以内にベクションを知覚した。

ターゲット音であるホワイトノイズは、視覚刺激を 2 s 間提示した後 (Vection 条件ではベクション状態に入って 2 s 後)、いずれかの基準音源位置を中心とする 7 つのスピーカの中からランダムに、任意のひとつのスピーカから 200 ms 間提示した。その 1 s 後、注視点以外のすべての視覚刺激の表示をなくし、更に 4 s 後、基準音源位置に設置したスピーカから、基準音として同じホワイトノイズを 200 ms 間提示した。被験者の作業課題は、スクリーンに提示された赤い注視点を注視しながら、先行して出力されたターゲット音が後続の基準音と比べて、左右どちらの方向から聞こえたかを答える、二肢強制選択であった。参照点が自分自身の身体軸ではなく、外部の基準点に設置した音源位置になるため、allocentric 作業課題であると言える。回答は、ジョイスティックの左右のボタンをクリックして行った。

実験は、1 つの基準音をワンセットとし、計 3 つの基準音条件を用意した。1 つの基準音条件には、3 つの視覚条件が含まれており、各スピーカの位置で 20 回ずつ試行したため、各基準音条件の試行回数は、3 つ (視覚条件) \times 7 個 (スピーカの数) \times 20 回 = 420 回になる。各視覚条件の試行は、NoImage 条件を最初に行い、その次に NoVection, Vection の順番で行った。音の左右方向を判断した後は、被験者がジョイスティックのボタンをクリックして次の試行を開始した。なお、各視覚条件の試行の間には十分な休憩時間を設けた。

2.4 被験者

各基準音条件ごとに、視力、聴力ともに正常な 20~30 代の成人男女を 10 名ずつ割り当てた。そのうち 5 名は、3 つの基準音条件のすべての実験に参加した。

2.5 実験結果

被験者の、音が基準音より「右」から聞こえたと回答した割合を計算し、最尤法 (maximum-likelihood method) を用いて近似した心理測定関数^[17]を求めた。その上で、主観的等価点 (point of subjective equal-

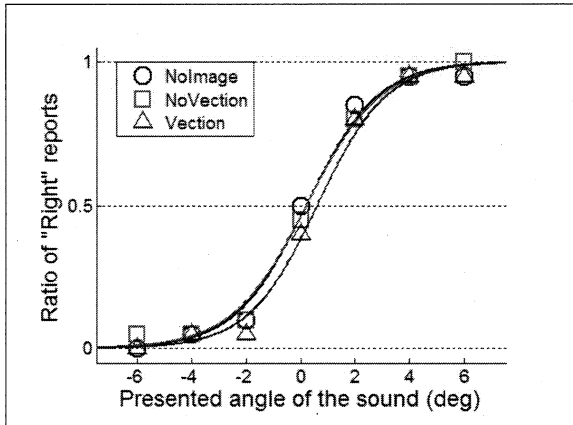


図3 実験結果 (基準音—頭部前方 0 deg)
Fig.3 The result of the experiment in the front hemisphere 0deg.

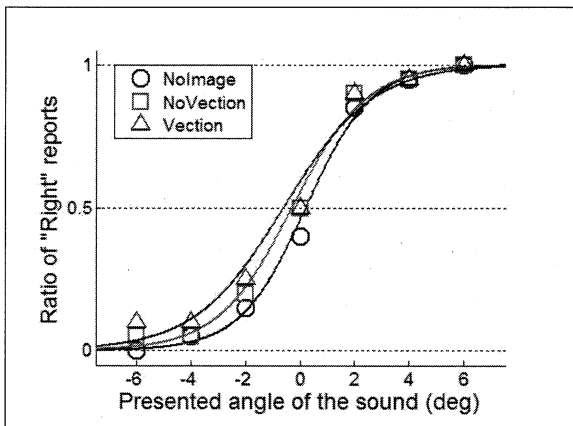


図4 実験結果 (基準音—頭部前方左 10 deg)
Fig.4 The result of the experiment in the front hemisphere left 10deg.

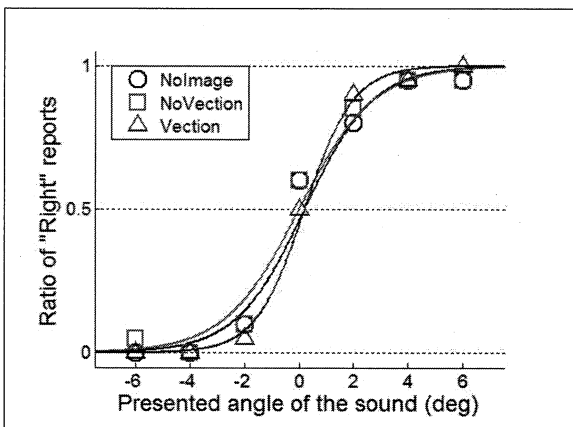


図5 実験結果 (基準音—頭部前方右 10 deg)
Fig.5 The result of the experiment in the front hemisphere right 10deg.

ity: PSE) と、確率が0.75となる丁度可知差異 (just noticeable difference: JND) を算出した。

被験者全員の平均心理測定関数を、基準音の角度ご

表1 主観的等価点 (PSE)

Table 1 Point of subjective equality (PSE).

基準音条件	平均値	NoImage (deg)	NoVection (deg)	Vection (deg)
0deg	平均値	0.20	0.20	0.60
	標準誤差	0.19	0.20	0.15
-10deg	平均値	0.20	-0.30	-0.62
	標準誤差	0.24	0.25	0.56
10deg	平均値	0.20	0.00	0.20
	標準誤差	0.27	0.18	0.15

表2 丁度可知差異 (JND)

Table 2 Just noticeable difference (JND).

基準音条件	平均値	NoImage (deg)	NoVection (deg)	Vection (deg)
0deg	平均値	1.44	1.49	1.40
	標準誤差	0.16	0.16	0.22
-10deg	平均値	1.32	1.49	1.78
	標準誤差	0.07	0.12	0.11
10deg	平均値	1.38	1.50	0.98
	標準誤差	0.13	0.21	0.10

とに図3~5に示す。横軸は実音源の位置、縦軸は基準音と比べて、音が「右」から聞こえたと回答した割合を指す。横軸の角度0 degは基準音の位置、縦軸の割合0.5はPSEを表す。基準音ごとの各視覚刺激の平均PSE値を表1に、JNDを表2に示す。PSEとJNDの値それぞれについて、3つの視覚条件を被験者内要因として、基準音条件ごとに1要因の分散分析を行った。

分析の結果、3つの基準音条件すべてにおいて、PSE, JNDともに、視覚刺激の主効果に有意差は認められなかった (基準音0 deg条件: 「PSE」 $F(2,18) = 1.149, n.s.$, 「JND」 $F(2,18) = 0.479, n.s.$; 基準音-10 deg条件: 「PSE」 $F(2,18) = 1.400, n.s.$, 「JND」 $F(2,18) = 0.416, n.s.$; 基準音10 deg条件: 「PSE」 $F(2,18) = 0.567, n.s.$, 「JND」 $F(2,18) = 1.926, n.s.$)。即ち、頭部前方の音像定位は、正中面のみならず、左右いずれの音源位置においても、ベクション知覚の影響を受けないことが分かった。

2.6 考察

頭部前方に音像を提示した場合、ベクション感覚の有無に関係なく、運動する視覚刺激の提示が音像定位に影響を及ぼさなかった。この点については、以下の理由が考えられる。

(1) 空間表象に用いた座標軸依存による影響

今回の実験においては、先行のターゲット音が後続の基準音と比べて、左右どちらの方向から聞こえたかを判断する作業課題を実施した。そのため、参照点が外部の基準点に設置した音源位置となり、対象物中心の作業課題である。自分自身の身体軸を基準とした空

間定位課題ではないため、ベクション知覚による自分自身の移動感覚が音像定位にそれほど影響を及ぼさなかったと考えられる。

(2) 聴覚空間の恒常性による影響

人間の聴覚系の処理機構には、頭部や身体の偏移・移動が生じた場合においても、静止音源は静止聴覚対象物として同じ絶対位置に知覚される、いわゆる聴覚空間の恒常性^{[18][19]}といわれる性質がある。ベクション知覚時においても、このような日常経験から生まれた、安定して空間を知覚する機能が優位に働いたため、音像定位に影響を及ぼさなかった可能性が考えられる。

(3) 物理空間における身体軸不変による影響

前述のように、我々は、ITDやILDなどを基準に音像定位を行うと考えられる。特に水平方向の音像定位においては、これらITDとILDが重要な役割を担っている^[20]。ところで、ベクション知覚時には、自己身体軸の変動という錯覚は生じるものの、物理的な身体軸の偏移は発生しない。そのため、ITDとILDは常に一定であり、音像定位がベクション知覚の影響を受けなかったと考えられる。

3. 実験2 - 頭部後方の音像定位

3.1 目的

実験1では、自己の移動感であるベクションを体験することが、音像定位にどのような影響を及ぼすのかについて、音刺激を頭部前方の視野範囲に提示した場合に限定して調べた。その結果、頭部前方の音像定位は、ベクション知覚の影響を受けないことが分かった。

頭部前方は、視覚の空間解像度が聴覚より高く、視覚がより優位に働く^{[21][22]}可能性があるが、頭部後方の場合は、頭部を回転させない限り、視覚による情報取得が不可能であるため、聴覚による空間定位が先に行われると考えられる。つまり、視覚情報の影響を強く受けると考えられる頭部前方空間と異なり、頭部後方は、自己身体の移動情報と聴覚情報の統合様相が異なる可能性が高い。そこで、実験2では、音像を頭部後方に提示した場合、ベクションによる自己運動感覚が音像定位にどのような影響を及ぼすのかについて調べた。

3.2 実験方法

実験環境は、スピーカアレイを被験者の頭部後方に設置した以外は、実験1と同様であった。被験者の背後150cmのところ、スピーカを保護するために使うサランネットで黒いカーテンを作り、スピーカが見えないように隠した。実験1と同様に、先行して出力された音刺激が後続の基準刺激と比べて、左右どちらの方向から聞こえたかを判断する作業課題を実施した。実験は、3つの基準音源条件を用意し、各基準音ごと

に、視力、聴力ともに正常な20~30代の成人男女10名を被験者として割り当てた。そのうち2名は、3つの基準音条件のすべての実験に参加した。

3.3 実験結果

被験者の、音が基準音より「右」から聞こえたと回答した割合を計算し、実験1と同様の心理測定関数を求めた。被験者全員のPSEを算出し、基準音の提示角度ごとに図6~8に示す。横軸は実音源の位置、縦軸は基準音と比べて「右」から聞こえたと回答した割合を指す。基準音ごとの、各視覚刺激の平均PSE値を表3に、JNDを表4に示す。

グラフから、Vection条件における「右」回答の割合が、全体的に増える傾向を示すことが読み取れる。また、表3の各視覚条件のPSE値を比較すると、Vection条件におけるPSE値がほかの条件と比べて、「左」へシフトする傾向をもつことが読み取れる。この結果は、Vection条件の場合は、音像を右の方(視覚刺激と反対方向)へシフトして定位することを示している。3つの視覚条件を被験者内要因として、基準音条件ごとに、PSEとJND値それぞれについて1要因の分散分析を行った。

分析の結果、基準音の位置が ± 10 degの場合、視覚刺激条件の主効果(PSE値)に有意差が認められた(基準音 -10 deg条件のPSE: $F(2,18) = 9.400$, $p < .005$; 基準音 10 deg条件のPSE: $F(2,18) = 4.621$, $p < .05$)。視覚刺激の主効果における多重比較の結果、Vection条件の場合のPSE値がほかの条件と比べて有意に小さく、音像を視覚刺激の運動方向とは反対方向へシフトして定位することが分かった。なお、基準音が ± 10 degのJND値については、視覚刺激の主効果に有意差が認められなかった(基準音 -10 deg条件のJND: $F(2,18) = 0.480$, $n.s.$; 基準音 10 deg条件のJND: $F(2,18) = 1.368$, $n.s.$)。基準音が 0 degの場合のPSEとJND値についても、視覚刺激の主効果に有意差は認められなかった(PSE: $F(2,18) = 1.625$, $n.s.$; JND: $F(2,18) = 0.966$, $n.s.$)。

3.4 考察

頭部後方における音像定位の場合は、ベクションを知覚することによって、頭部位置を基準とした左右両方向とも、音像を自分自身の運動方向へシフトして定位した。ただし、頭部後方の中心(後ろの正面)の場合は、視覚刺激の有無に関係なく、音像定位に変化が生じなかった。この理由について、以下に考察を行う。

(1) 認知的要因による影響

頭部後方の場合は、音像を自分と共に動いているものと認知されていた可能性が考えられる。もしそうだとすれば、聴覚刺激の自己運動知覚への融合が発生し、音像を自己身体軸の運動方向へシフトして定位してい

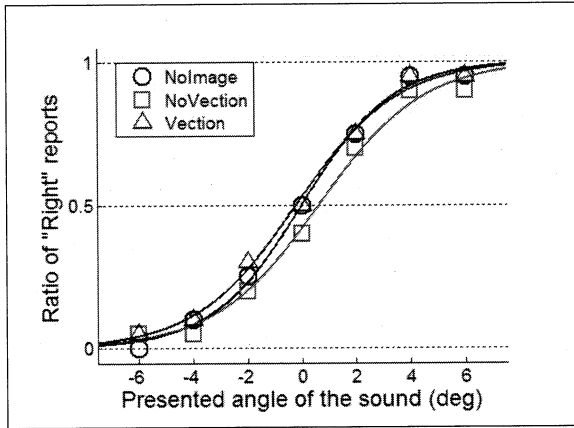


図6 実験結果 (基準音—頭部後方 0 deg)
Fig.6 The result of the experiment in the rear hemisphere 0deg.

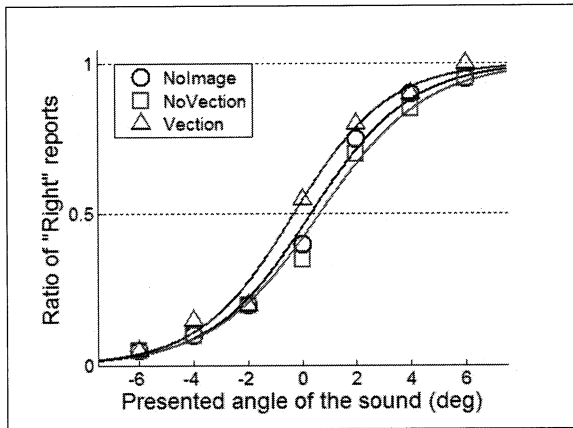


図7 実験結果 (基準音—頭部後方左 10 deg)
Fig.7 The result of the experiment in the rear hemisphere left 10deg.

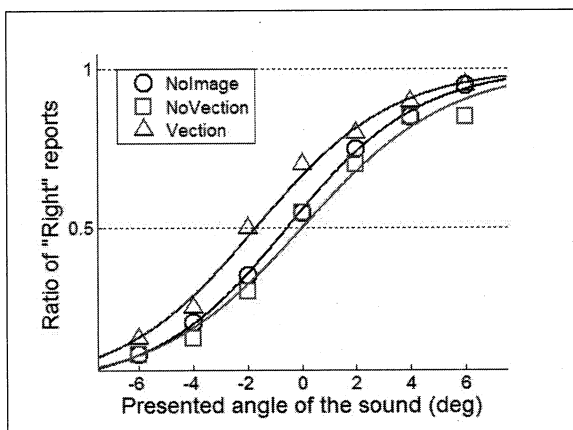


図8 実験結果 (基準音—頭部後方右 10 deg)
Fig.8 The result of the experiment in the rear hemisphere right 10deg.

たとえられる。ただし、頭部中央の場合は、音刺激が両耳に到達するまでの時間差と音圧レベル差がほぼゼロであり、ベクション知覚時においてもこの balan

表3 主観的等価点 (PSE)

Table 3 Point of subjective equality (PSE).

基準音条件	平均値	NoImage (deg)	NoVection (deg)	Vection (deg)
0deg	平均値	0.00	0.63	-0.21
	標準誤差	0.27	0.37	0.50
-10deg	平均値	0.31	0.63	-0.31
	標準誤差	0.18	0.25	0.25
10deg	平均値	-0.56	0.00	-1.70
	標準誤差	0.36	0.54	0.37

表4 丁度可知差異 (JND)

Table 4 Just noticeable difference (JND).

基準音条件	平均値	NoImage (deg)	NoVection (deg)	Vection (deg)
0deg	平均値	1.83	2.10	2.03
	標準誤差	0.22	0.32	0.27
-10deg	平均値	2.03	2.16	1.92
	標準誤差	0.15	0.21	0.18
10deg	平均値	2.67	2.94	2.75
	標準誤差	0.23	0.45	0.42

スの微小な変化を容易に判断できたため、運動する視覚刺激の影響を受けなかった可能性がある。

(2) 聴覚の空間分解能による影響

頭部後方の場合は、前方と比べて、聴覚的空間分解能が低いため、ベクション知覚の影響を受けやすかったのではないかと考えられる。これを検証するために、ベクション知覚の影響が表れた、頭部前後の左右4つの基準音位置での JND 値を比較した。表2と表4から、頭部前方の JND は 1 deg 程度、頭部後方の JND は 2 deg 以上で、頭部後方の方が大きくなるのが分かる。そこで、これらの JND 値について、4つの基準音の提示位置 (頭部前後の左右± 10 deg) と3つの視覚条件を被験者内要因として、2要因の分散分析を行った。分析の結果、基準音位置の主効果に有意差が認められ ($F(3,27) = 16.234, p < .001$)、多重比較の結果、頭部後方のいずれの位置での JND 値は、前方と比べて有意に大きいことが分かった。即ち、頭部後方は前方と比べて、聴覚的空間分解能が低いことが検証された。

多感覚統合に関する研究知見^{[23][24]}によると、一つの感覚から得られる情報の信頼性が低い場合は、他の感覚モダリティからの影響をより強く受けると言われている。本研究においても、頭部後方の聴覚的分解能が低いため、聴覚から得られた情報の信頼性が低く、頭部前方の場合よりベクション知覚の影響を比較的強く受けたのではないかと考えられる。また、表3の± 10 deg での PSE のずれ (Vection と NoImage 条件との差) は 1 deg 程度であり、ベクション知覚による影響はそれほど大きくなかったと言える。この 1 deg 程

度のずれは、頭部前方においては聴覚系で区別できる範囲内であるが、後方では聴覚的分解能が低く（JNDの値が前方より大きい）、ベクション知覚の影響が現れやすかったと考えられる。

4. 総合的考察

頭部後方の左右両方向に音刺激を提示した場合は、ベクションを知覚することにより、音像を自己身体軸の運動方向へシフトして定位した。しかし、頭部前方と真後ろの正面における音像定位は、ベクション知覚の影響を受けなかった。

実験1においては、空間表象に用いた座標軸依存の観点や聴覚空間の恒常性の観点、物理的な身体軸不変の観点等から、ベクション知覚が音像定位に影響を及ぼさない結果について考察を行った。しかし、同じ作業課題を実施した実験2の結果から、ベクション知覚時の音像定位という知覚現象は、これらの考察だけでは説明できない複雑な認知過程であることが明らかになったと言える。実験1と実験2の結果の比較から、音像定位という知覚過程は、対象物（音源）と自己身体軸との相対位置関係の違いにより、異なったイベント統合を引き起こす可能性が考えられる。これらを整理して、以下に考察を行う。

(1) 認知的要因によるイベント統合

頭部前方の音像定位においては、聴覚刺激と視覚によって誘導される自己身体の動きを、異なった2つのイベント事象として同時並列に処理し、イベント統合が生じなかった可能性が考えられる。一方、頭部後方の場合は、音源を自分の動きに伴って存在するものとした。即ち、イベント統合が発生した可能性が考えられる。これは、寺本ら^[6]が言うように、「聴覚刺激を知覚するための参照枠選択問題」であるとも考えられる。例えば、自動車を運転している際、救急車の音は自分の動きとは独立した音であり、エンジン音は自分の動きに伴う音である。この両者の音像定位には、異なるバイアスが影響すると考えられる。このような考察を基にすれば、頭部後方の音は、自分の動きに伴う音であるというバイアスが影響してイベントの統合が発生したと考えられる。

(2) 聴覚空間分解能による最適統合の有無

それでは、頭部後方においてはなぜイベントの統合が発生するのか。このイベント統合の発生の有無はどのような性質を持っているのであろうか。実験2の考察では、音像定位における頭部前後のJND値を比較し、頭部後方の場合は前方と比べて聴覚的空間分解能が低く、そのため、ベクション知覚の影響を受けやすかったと考察した。Ernstら^[25]が提案した最適重みづけ（optimal weighting）仮説によると、我々のマル

チモーダル情報処理過程においては、複数のイベントに対して、信頼性の高い方に重み付けをして最適な統合を行う性質があると考えられる。そのため、聴覚的空間分解能が比較的低い頭部後方においてのみ、ベクション知覚への重み付け（イベント統合）が発生しやすかったものかも知れない。即ち、ある単一モダリティの他のモダリティへの統合は、そのモダリティの優位性が低下する場合のみ発生する可能性が考えられる。

実験2において、頭部後方の右側（10 deg）が左側（-10 deg）の場合よりもベクションの影響が大きく表れたのは、ベクション知覚の左右非対称性によるものではないかと考えられる。また、後方の場合は、NoImage条件におけるPSEとJNDの値が各基準音源条件で異なっており、頭部後方においては音像定位能力の個人差が生じたかも知れない。これらについては、今後更なる検討を行っていきたい。

5. まとめ

ベクションが頭部前後の水平方向の音像定位にどのような影響を及ぼすのかについて調べた。その結果、頭部後方の左右両方向の音像定位はベクション知覚の影響を受けやすく、音像を自己身体の運動方向へシフトして定位することが分かった。

謝辞

本研究は文部科学省科研費補助金特別推進研究「マルチモーダル感覚情報の時空間統合（19001004）」の助成による。

参考文献

- [1] Jens Blauert: Spatial Hearing- The psychophysics of human sound localization.
- [2] F. Asano, Y. Suzuki and T. Sone: Role of spectral cues in the median plane localization; The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 88, Issue 1, pp. 159-168 (1990).
- [3] M. H. Fischer and A. E. Kornmüller: Optokinetic ausgelöste Bewegungswahrnehmungen und optokinischer Nystagmus; Journal für Psychologie- und Neurologie (Leipzig), Vol. 41, pp. 273-308 (1930).
- [4] H. Wallach: The role of head movements and vestibular and visual cues in sound localization; Journal Exp Psychol, Vol. 27, pp. 339-368 (1940).
- [5] W. R. Thurlow and T. P. Kerr: Effect of a moving visual environment on localization of sound; The American Journal of Psychology, Vol. 83, No. 1, pp. 112-118 (1970).
- [6] 寺本渉, 渡邊洋, 本郷由希, 梅村浩之: 大視野視覚運動刺激が聴覚運動知覚に及ぼす影響について; 第351回音響工学研究会, Vol. 351, No. 2, pp. 1-8 (2008).
- [7] Ken. I. McAnally and Russell. L. Martin: Sound localization during illusory self-rotation; Experimental Brain Research, Vol. 185, No. 2, pp. 337-340 (2008).

著者紹介

- [8] Ken. I. McAnally and Russell. L. Martin: Localization of sound presented via a spatial audio display during visually inducedvection in pitch, roll, and yaw; Aviation Space and Environmental Medicine, Vol. 79, No. 6, pp. 611-615 (2008).
- [9] 崔正烈, 北島律之, 竹田仰: 視覚性自己誘導運動時における音像運動の知覚について; 日本バーチャルリアリティ学会第5回大会論文集, 12B3, pp. 71-74 (2000).
- [10] J. F. Soechting and M. Flanders: Sensorimotor representations for pointing to targets in three-dimensional space; Journal of Neurophysiology, Vol. 62, No. 2, pp. 582-594 (1989).
- [11] J. McIntyre, F. Stratta and F. Lacquanitti: Short-term memory for reaching visual targets: Psychophysical evidence for body-centered reference frames; The Journal of Neuroscience, Vol. 18, No. 20, pp. 8423-8435 (1998).
- [12] I. P. Howard: Human visual orientation; London Wiley & Sons, (1982).
- [13] I. P. Howard: Spatial vision within egocentric and exocentric frames of reference; Pictorial communication in virtual and real environments, pp. 338-358 (1991).
- [14] <http://www.opengl.org>.
- [15] 崔正烈, 寺本渉, 坂本修一, 岩谷幸雄, 鈴木陽一: 視覚誘導性自己運動感覚が頭部前後方向の音像定位に及ぼす影響; 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーショングループ2010年度HCGシンポジウム, pp. 18-21 (2010).
- [16] J. Dichigans and T. Brant: Visual- vestibular interaction; Handbook of sensory physiology, Vol. 8, pp. 754-804 (1978).
- [17] F. A. Wichmann and N. J. Hill: The psychometric function- I, Fitting, sampling and goodness of fit; Perception & Psychophysics, Vol. 63, pp. 1293-1313 (2001).
- [18] 柏野牧夫: 音声知覚の恒常性; 甘利俊一・外山敬介編, 脳科学大事典, 朝倉書店, pp. 519-524 (2000).
- [19] H. Wallach: The role of head movements and vestibular and visual cues in sound localization; Journal of Experimental Psychology, Vol. 27, pp. 339-368 (1940).
- [20] J. Blauert: Spatial hearing; Cambridge: MIT Press, (1983).
- [21] C. V. Jackson: Visual factors in auditory localization; The Quarterly Journal of Experimental Psychology, Vol. 5, pp. 52-65 (1953).
- [22] R. B. Welch and D. H. Warren: Immediate perceptual response to intersensory discrepancy; Psychological Bulletin, Vol. 88, No. 3, pp. 638-667 (1980).
- [23] J. Heron, D. Whitaker and P. V. McGraw: Sensory uncertainty governs the extent of audio-visual interaction; Vision Research, Vol. 44, No. 25, pp. 2875-2884 (2004).
- [24] S. Hidaka, Y. Manaka, W. Teramoto, Y. Sugita, R. Miyauchi, J. Gyoba, Y. Suzuki and Y. Iwaya: Alternation of sound location induces visual motion perception of a static object; PLoS One, Vol. 4, No. 12, e8188, pp. 1-6 (2009).
- [25] M. O. Ernst and M. S. Banks: Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion; Nature, Vol. 415, No. 6870, pp. 429-433 (2002).

崔 正烈 (正会員)



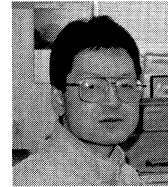
2004年九州大学大学院システム情報科学府博士後期課程修了。同年同大学COE 研究者・ユーザーサイエンス機構研究員を経て、2009年より東北大学電気通信研究所研究員。現在に至る。人工現実感環境生成法、人の感性・生理・心理特性に関する研究に従事。ヒューマンインタフェース学会、バーチャルリアリティ学会等の会員。博士(工学)。

寺本 渉



2004年神戸大学大学院文化科学研究科博士課程修了。日本学術振興会特別研究員(PD)、東北大学電気通信研究所・同大学院文学研究科研究員を経て、2011年4月より、室蘭工業大学情報電子工学系学科助教。知覚心理学、実験心理学、特にマルチモーダル感覚情報処理に関する研究に従事。博士(学術)。

坂本 修一



1997年東北大学大学院情報科学研究科修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。2000年から東北大学電気通信研究所。現在、同所准教授。博士(工学)。聴覚・マルチモーダル感覚情報処理過程に関する研究に注力。日本音響学会、電子情報通信学会、日本バーチャルリアリティ学会、日本感性工学会等の学会会員。

岩谷 幸雄



1991年東北大学工学部卒。同大学院工学研究科博士課程前期2年の課程修了。博士(情報科学)。秋田大学助手、講師を経て2002年より東北大学電気通信研究所助教授、2007年より准教授。現在に至る。3次元音空間知覚、音空間の再現、音響バーチャルリアリティ等の研究に従事。日本音響学会、日本バーチャルリアリティ学会等の会員。

鈴木 陽一



1981年東北大学大学院工学研究科博士課程修了。工博。現在、東北大学電気通信研究所教授。3次元音空間知覚と制御手法、マルチモーダル知覚などの研究に従事。日本VR学会フェロー、評議員。日本音響学会会長、騒音制御工学会理事等を歴任。米国音響学会、電子情報通信学会フェロー。

(2011年11月15日受付)

(C) NPO法人ヒューマンインタフェース学会