

小特集—Virtual Reality (VR) に関連したマルチモーダル技術・研究—

頭部運動と音像定位*本多明生 (静岡理科大学)*¹・坂本修一 (東北大学)*²・
岩谷幸雄 (東北学院大学)*³・鈴木陽一 (東北大学)*⁴

43.66.Qp

1. はじめに

バーチャルリアリティ (virtual reality, 以下 VR) の登場以来, どうすれば高い臨場感を生み出すことができるのかという問いがますます切実なものとなり, 様々な研究が行われてきた。それらの研究からは, 聴覚情報は, 視覚情報と同じく, ユーザが臨場感を高く知覚するための規定因の一つとしてはたらいっていることが明らかとされている [1–3]。従って, ユーザに超高臨場感体験をもたらす VR システムを生み出すためには, 映像技術だけではなく, 空間音響技術の更なる発展, すなわち, 超高臨場感音空間技術の開発が重要となる。

鈴木ら [4] は, 超高臨場感音空間技術の実現と社会実装においては, (1) 音空間知覚が前庭感覚や自己運動感覚など, 聴取者の姿勢や動きの情報と多感覚情報処理としての性格を持つこと (アクティブリスニング性 [5]), (2) ユーザとバーチャル音空間とのインタラクティブ性を考慮することが鍵となることを指摘している。従って, アクティブリスニング性とインタラクティブ性に関する研究, 例えば, 聴取者の動きと音空間知覚のインタラクションに関する研究から得られる知見は, 超高臨場感音空間技術の実現と社会実装を進めるプロセスにおいて有益な示唆を与えるだろう。

実際, これまでの研究からは, 聴取者の動きに応じた両耳入力を与えることによって, 聴取者の音空間知覚の精度が大きく改善し, 臨場感も強ま

ることが報告されている [3]。

聴取者の動きと音像定位, とりわけ頭部運動と音像定位の関係は, 聴取者の動きと音空間知覚のインタラクションに関する研究の中でも主要な研究のひとつに位置付けられる。従って, 頭部運動と音像定位に関する研究をまとめ, 包括的な知見を得ることは, アクティブリスニング性とインタラクティブ性の理解を深めるうえで必要である。

本稿では, このような考えから, 聴取者の頭部運動と音像定位に関する研究に焦点をあて, これまでの研究を整理し, 今後の課題を明らかにする。

はじめに, 音像定位について説明した後, VR システムにおいて, アクティブリスニング性を考慮することの重要性を示す。更に, アクティブリスニング性とインタラクティブ性を持つ音空間 VR システムは, ユーザにどのような効果をもたらすのかを解説した後, 今後の課題を述べる。

次に, 頭部運動と音像定位に関する昨今の研究動向を紹介する。聴取者の頭部運動が音像定位にどのような影響を及ぼすのかという問題は, 80 年以上前から検討されてきたが [6], 依然として, その知覚情報処理過程には未解明の部分が残されている。本稿では, そのなかでも, 頭部運動中の音像定位に関する研究動向を概観し, 今後の課題を述べる。

2. VR ゲームによる学習の転移効果

2.1 頭部運動と VR システム

人間は, 両耳の鼓膜で物理的な音入力信号を受け取り, そこに含まれている音情報を脳で情報処理することで, 音像の空間位置を知覚している。音源の位置情報を音像として知覚する能力を「音像定位 (sound localization)」と呼ぶ [7]。

二つのラウドスピーカを用いて通常のスtereo 信号をそのまま再生した場合, 音像の位置は音源となる二つのラウドスピーカの間知覚される [8]。

* Head movement and sound localization.

¹ Akio Honda (Faculty of Informatics, Shizuoka Institute of Science and Technology, Fukuroi, 437–8555) e-mail: akio.honda6@gmail.com

² Shuichi Sakamoto (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, 980–8577)

³ Yukio Iwaya (Faculty of Engineering, Tohoku Gakuin University, Tagajo, 985–0873)

⁴ Yōiti Suzuki (Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, 980–8577)

この例から分かるように、音像定位とは、知覚された結果であり、実音源の位置を正確に定位できるかという答えのある音源定位とは異なる [7]。

これまでの研究からは、音空間知覚における様々な手がかり(両耳間時間差, 両耳間位相差, 両耳間レベル差, スペクトラルキューなど)を包括的に含む頭部伝達関数(head-related transfer function: HRTF)と, その両耳間差によって, 方位角, 仰角の音像定位を説明することができることが明らかとなっている [9, 10]。

聴取者の頭部運動は, ある音源位置からの頭部伝達関数によって生じる両耳入力情報に動的な変化を生むことから, 音像定位精度に影響を及ぼすことは, 研究初期から示唆されてきた [6]。例えば Thurlow ら [11] は, 頭部運動は, 頭部静止に比べて方位角, 仰角ともに音像定位精度が向上すること, 更に頭部を強制的に動かす条件と頭部の自由運動を許可した条件を比較しても音像定位精度に違いが認められなかったことを報告している。このことから明らかのように, 聴取者の頭部運動が生み出す両耳入力情報の動的な変化は, 音像定位の重要な手がかりとして機能する。

頭部運動が音像定位精度を高めるという研究結果は, VR システムを使用した場合からも得られている。例えば, 川浦ら [12, 13] は, デジタル信号処理技術を応用してバーチャル音源を任意の水平面上に提示するシステムを構築し, そのシステムを利用した聴取実験を行った。その結果, 聴取者の頭部水平回転運動に応じてバーチャル音源の生成に必要な頭部伝達関数を動的に変化させると, 音像の前後誤判断や頭内定位が減少するなど, より自然な音像定位が実現することを明らかにしている。また, Iwaya ら [14] は, 音源信号に頭部伝達関数を畳み込むことで, バーチャル空間内の任意の位置に音像を生み出す VR システムである 3次元聴覚ディスプレイ (three dimensional virtual auditory display: 3D VAD) を使用し, 音像定位課題の前後誤判断は, 聴取者の頭部運動によって改善すること, その効果は聴覚ディスプレイに用いる頭部伝達関数の個人化の程度には依存しないことを報告している。

平原・森川 [15] も, 音像定位における頭部運動の効果に関する実験結果をまとめており, 聴取者の自発的な運動を反映した動的バイノーラル信号

を用いれば, 収録・再生系が音響的制約を満たさなくても, 空間的なひずみが少ない音像を再生することができる」と結論付けている。

人間は, 能動的に動きつつ, 自身の置かれた環境を理解しようとする生き物である [5]。これまでの研究結果から示されるように, 高臨場感をユーザに提供する VR システムをデザインするうえでは, 聴取者の動きに応じて両耳入力を変える仕組み, アクティブリスニング性を持つことが重要である。そして, アクティブリスニング性は, ユーザとバーチャル音空間とのインタラクティブ性を考慮することによって, VR 空間内におけるユーザの行動を一段と活発化させる可能性が高い。このような点からもアクティブリスニング性とインタラクティブ性は, ユーザが高い臨場感を得るための条件として極めて重要である。

2.2 音空間 VR ゲームによる学習の転移効果

アクティブリスニング性とインタラクティブ性を備えた VR システムは, バーチャル音空間におけるユーザの動きを活発化するのならば, そのような VR システムを用いた学習経験はユーザにどのような効果をもたらすのであろうか。

筆者たちは, 上述した観点から, アクティブリスニング性とインタラクティブ性の特徴を持つ音空間 VR ゲームを開発し, 一定期間, ゲームプレイが音像定位トレーニングを行うと, どのような効果が得られるのかを調べた [16, 17]。

音空間 VR ゲームは, *BBBeat* と称し, 3次元聴覚ディスプレイを用いて, VR 音空間内のランダムな位置に提示されるハチの羽音を模した音源に対し, 積極的に頭部運動を行って定位した音像位置をハンマで指示 (殴打) するというゲーム内容であった (アクティブリスニング性)。ゲームプレイが定位に使用するハンマには, 小型位置センサと振動ユニットが内蔵されており, ゲーム時に正確な音像定位が行えた場合 (当たり判定が得られた場合), 音声アナウンスと同時に振動ユニットが反応することで, 正確な定位ができたことを確認することができた (インタラクティブ性)。

聴覚ディスプレイからの音源提示時は, 頭部運動が行われても VR 空間の世界座標系での音源位置が変化しないよう, 聴取者のヘッドホン上部に頭部センサを取りつけ, 同センサから送られてくる頭部角度情報を監視して HRTF を切り替えて実

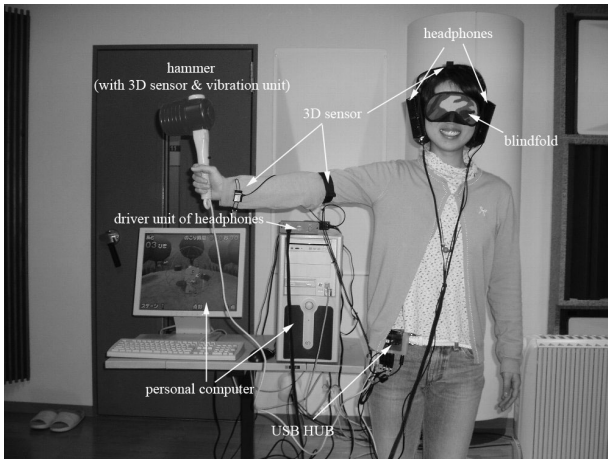


図-1 音空間 VR ゲームのシステム概観 [16, 17]

時間内に畳みこみを行う手法を用いた（図-1，頭部運動感応型 3 次元聴覚ディスプレイ）。

Honda ら [16] の研究では、上述した音空間 VR ゲームを用いた音像定位トレーニングを、2 週間で 7 回（1 回あたり 30 分）行うことによって、ゲームプレイヤが音像定位トレーニングを行うとどのような効果が得られるのかを調べた。

実験の結果、ゲームプレイヤが音空間 VR ゲームによる音像定位トレーニングを行うことで、実空間内における音像定位課題の正答率がトレーニング前と比べて 20% 程度上昇することが分かった。更に、トレーニング効果が認められた実験参加者を対象に、追跡実験を行った結果、ゲームプレイヤの音像定位成績は、音空間 VR ゲームによる音像定位トレーニングをやめて、1 か月間が経過しても成績は低下せず、維持されることが明らかとなった [16]。また、音空間 VR ゲームによる音像定位トレーニングの効果は、音像定位課題だけではなく、視覚情報が制限された状況下で行う複数の人物とのコミュニケーション課題（会話をしている相手に自身の顔を向けるフェイスコンタクト行動）や自身に接近する移動物体を回避する課題にも生じていた [17]。

この現象は、知覚と身体運動を状況にふさわしい仕方に関連付ける非言語的学習である、知覚・運動学習 (perceptual-motor learning) 時に起きる、「学習の転移 (transfer of learning)」によって説明できる。学習の転移とは、例えば、ペン字を習得した場合に毛筆の使い方が上手になる場合があるように、練習課題と行動的に類似した課題や情報処理基盤を共有する場合に発生することが

多い。

つまり、Honda らの研究の場合は [16, 17]、音空間 VR ゲームを用いた音像定位トレーニングを行うことで、その学習経験が、音像定位課題やコミュニケーション課題、衝突物体回避課題に転移したと言える。これらの転移は、実験課題が音像定位能力に関する情報処理基盤を共有していたことから生じたものと考察できる。

それでは Honda ら [16, 17] が観察した音空間 VR ゲームによる学習の転移効果は特殊な現象なのだろうか。これまでの研究からは、VR ゲームによる学習の転移効果は、通常のテレビゲームと比べて高い傾向にあること [18]、テレビゲームによる短期間の学習が運動技能にまで転移することが分かっている [19]。従って、音空間 VR ゲームによる学習の転移効果は特殊な現象ではない。

2.3 今後の課題

2016 年は PSVR や Oculus Rift, HTC Vive などの装置が発売されたことで VR 元年と呼ばれることとなった。現在、様々な VR ゲームが市販されており、VR システムは教育ツールとしても活用されてきている。これまでの研究から示されているように、VR システムを利用した学習は、ユーザの行動への影響が強いならば、今後の研究では、学習の制御や消去に関する検討を行う必要があるだろう。特に、Honda ら [16] の研究で示されたとおり、知覚・運動学習を基盤とする学習の転移効果は、学習終了後も長期間にわたってユーザに残存する可能性が高い。

VR システムを利用した学習経験の効果と制御に関する研究は、サービスを提供する作り手側が、ユーザの行動に不適切な転移効果が生じないか、配慮するうえでも重要である。現状では、特に、聴覚ディスプレイを用いたサービスを長期的に利用することがユーザにどのような効果をもたらすのかを調べた研究は少ない。同問題を解決することは、今後の課題のひとつである。

加えて、音空間 VR システムのアクティブリスニング性とインタラクティブ性が学習過程にどのような影響を持つのかについても更なる知見が求められる。著者たちが開発した音空間 VR ゲームでは、ユーザは VR 音空間内の音像をできるだけ正確に検出するために積極的な頭部運動を行うというアクティブリスニング性と、音像定位の結果

は音声と振動による即時的なフィードバックを受けるといったインタラクティブ性を有していた。

Honda ら [20] は、トレーニング時のアクティブリスニング性とインタラクティブ性が音像定位にどのような効果を持つのかを調べるために、トレーニング時に積極的に頭部運動を行うことと音像定位の結果をフィードバックすることの効果調べる実験を行った。その結果、トレーニング時に積極的に頭部運動を行うことと結果をフィードバックすることによって聴取者の音像定位課題の正答率が高まること、頭部運動を行うことは方位角の誤差の低下に寄与すること、フィードバック情報の提示は仰角の誤差の低下に寄与していることが示唆された。更に、トレーニング時は、フィードバック情報を提示すると音像定位課題の正答率が高くなる傾向があった。これらの結果は、アクティブリスニング性とインタラクティブ性が、音像定位学習において、相補的で、相乗的な効果を持つことを示唆している。

音空間 VR システムのアクティブリスニング性とインタラクティブ性のどのような要素が音像定位にどのような効果を持つのかを調べた研究は少ないことから、更なる知見が求められる。特に、アクティブリスニング性とインタラクティブ性を構成する要素と音空間知覚、臨場感との関係についての知見を得ることは、空間音響技術の更なる発展において重要である。

3. 頭部運動中の音像定位

3.1 頭部運動中の音像定位

聴取者の頭部運動が音像定位にどのような影響を及ぼすのかという問題は、80 年以上前から検討されてきた [6]。しかしながら、依然として、その情報処理過程には未解明の部分が残されている。先に述べたように、頭部運動が音像定位に効果的に寄与するといった研究がある [6, 11–16] 一方で、聴取者は音像定位時に必ずしも自発的な頭部運動を行っているわけではないという報告 [21, 22] もあることから、今後の高臨場感、高精細音空間システムの設計を考えていくうえで、人間の音空間知覚のメカニズムの更なる解明とシステム開発への知見の応用が重要となる [4]。

アクティブリスニングの最中は、頭部運動によって両耳入力情報に動的な変化が生じることになる。

頭部運動を行っている間、聴取者はこの動的に変化する両耳入力情報を処理し続けており、その結果、音は聞こえ続けている。聴取者は、その間も音空間知覚（音像定位）を常時続けているとするのならば、聴取者には、頭部運動の最中、両耳入力情報を効率的に処理するための仕組みが必要になるだろう。

筆者たちは、このような考えから、頭部運動中は、聴取者の音空間知覚に関する情報処理過程には抑制的な現象が生じるのではないかと考えて検討を行った。実際、聴取者に、早めの頭部運動を行うように求めて、その頭部運動の最中に、音刺激を提示し、音像定位を求めると、頭部運動を行っていないときと比べて、音像定位精度が低下することが報告されていたことから [23, 24]、筆者たちは、類似した現象が観察されるのか、その現象には速度依存性があるのかを検討した。

この研究 [25] では、3 次元聴覚ディスプレイを用いて聴取者に移動するバーチャル音源を提示し、音像移動の検知限が頭部回転運動によって変化するかを調べた。その結果、頭部回転条件は頭部静止条件よりも音像移動検知限が大きいこと、すなわち、頭部運動中は頭部を静止しているときよりも、聴取者は、頭部回転運動を行うことで音像の移動に気付きにくくなることが分かった。更に、頭部回転運動を行う速度条件を 2 種類 (30 deg/s 条件と 60 deg/s 条件) 設定して、音像移動検知限に速度条件の違いが認められるのかを調べた結果、頭部運動を行う速度の違いは結果に影響しないことが示唆された (図-2)。

この研究結果 [25] は、実環境で頭部運動を行っている最中に音を提示した場合 [23, 24] だけではなく、VR 音空間で頭部運動を行っている最中でも音像定位精度が低下することを示しており、更に観察された現象が特定の速度に依存したものであることを示している。

頭部運動中の音像定位精度の低下に速度依存性が少ないことを示す知見は、実環境で聴取者が頭部回転運動を行っている最中に音刺激を提示し、音が主観的正面に対して左から聞こえたか、右から聞こえたか、二肢強制選択法を用いて回答させた実験からも得られている [5]。この実験では、回答結果から主観的正面の弁別限を求めたところ、頭部回転運動中は、静止時と比べて、主観的正面

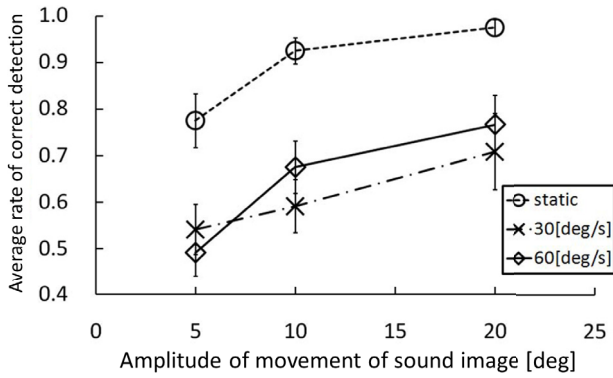


図-2 3次元聴覚ディスプレイを用いた音像移動検知実験の結果 [25]

の弁別限が大きくなること、その傾向は、頭部回転の速度には依存しないことが示された。

また、岩谷ら [26] は、頭部運動を伴う音像定位時の純音知覚に抑制効果が示されるのかを調べている。この研究では、複数のスピーカのひとつから帯域阻止ピンクノイズを放射して、その方向に頭部を向かせる課題を設け、頭部運動を行っている最中に、純音を頭部直上から放射した。実験参加者は、純音の有無を回答した。その結果、聴取者の純音の検知限が頭部運動を行うことによって上昇したことが示された。

これらの研究成果は、頭部運動中は音空間知覚に関する情報処理過程に抑制的な現象が生じることを示唆している。いずれの研究でも、聴取者は、ある方向に頭部を能動的に回転させることが要求されている。それでは、この現象は、受動的な頭部回転運動を行っているときにも観察されるのだろうか。

この疑問を調べるために、パルスモータで駆動する回転椅子を用いて、受動回転中の主観的正面の音像定位弁別限を調べる研究を行った [27]。実験では、聴取者を回転椅子に座らせて、椅子を回転させている最中に音刺激を提示し、音が主観的正面に対して左から聞こえたか、右から聞こえたか、二肢強制選択法を用いて回答させた。回答から主観的正面の弁別限を求めた結果、椅子の回転中は、静止時と比べて、聴取者の主観的正面の弁別限が大きくなることが示された。更に、その傾向は、椅子が回転する速度 (5 deg/s 条件, 10 deg/s 条件, 20 deg/s 条件の3条件で比較) には依存しなかった (図-3)。この結果は、能動的な頭部回転運動を行っている最中の聴取者の主観的正面の音

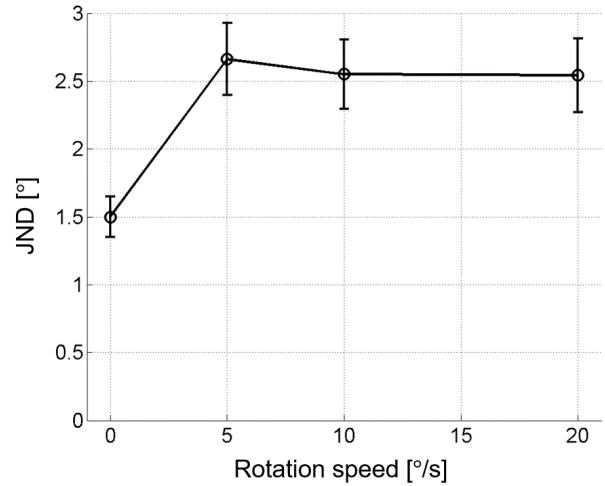


図-3 受動回転時の主観的正面の弁別限 [27]

像定位弁別限を調べた研究結果 [5] と同様の傾向である。

以上の知見をまとめると、頭部運動中は、聴取者の音空間知覚に関する情報処理に抑制がかかる場合があり、その現象は能動的な頭部回転運動だけでなく、受動的な頭部回転運動を行うことでも発生すると言える。

この知見は、聴取者の頭部運動中は、必ずしも、聴取者には、高精細な動的な手掛かりを提示する必要がないことを意味しており、アクティブリスニング性を考慮したシステム開発を行う際の設計に応用できると考えられる。

3.2 今後の課題

今後の高臨場感、高精細音空間システムを考えるうえでは、人間の音空間知覚のメカニズムの更なる解明とシステム開発への知見の応用が重要となる [4]。最近の研究から、頭部回転運動中は、音空間知覚に関する情報処理に抑制がはたらく場合があること、その現象は能動的な運動だけでなく、受動的な運動を行うことでも生じることが示唆されている。今後の課題を述べる。

頭部運動から得られる両耳入力情報の動的な変化が、音像定位を行う際の手掛かりとしてどのように機能するのかについて明らかにするためには、頭部運動と音情報の持つ様々な特性とのインタラクションを検討することが必要である。例えば、これまでの研究からは、提示時間が長い音刺激は、短い音刺激と比べて、頭部運動から得られる動的な手掛かりが多くなるが、単純に提示時間を延ばすことが方位角の音像定位精度を高めるわけではな

いこと [28], 提示時間の効果は, 方位角よりも仰角の音像定位精度に強くあらわれることを示す知見が得られている [29]. 同問題に関する研究は, アクティブリスニング性とインタラクティブ性に関する理解を深化させるためにも重要であるだろう。

加えて, 今後の研究では, 頭部運動中の音空間知覚の情報処理過程における抑制のメカニズムを明らかにする必要がある。聴取者に対して視覚刺激を使って直線運動感覚 (視覚誘導性自己運動知覚, vection) を生じさせ, そのときの音像定位精度を調べた研究からは, 特に聴取者に後方への移動感覚を生じさせた場合に, 静止していた場合と比べて, 音像定位精度が低下したことが報告されている [30]. 同じように, 実際に頭部運動を行わずに, 視覚刺激を利用するなどして頭部運動感覚を生じさせた場合でも, 音空間知覚に抑制効果が観察されるのであれば, 頭部運動中の音空間知覚ではトップダウン型の情報処理が行われている可能性が高いことを意味する。これらの研究から得られる知見は, 多感覚情報処理過程を基盤とする, 人間の音空間知覚のメカニズムを明らかにし, 高臨場感, 高精細音空間システムの開発を実現するうえでも重要である。

4. おわりに

ユーザに超高臨場感体験をもたらす VR システムを生み出すためには, 映像技術だけではなく, 空間音響技術の更なる発展が重要となる。アクティブリスニング性とインタラクティブ性はその鍵である [4]. 本稿は, 頭部運動と音像定位に関する研究を概観することを通じて, アクティブリスニング性とインタラクティブ性に関する知見をまとめ, 今後の課題を述べた。更に, 高臨場感, 高精細音空間システムを開発するためには, 人間の音空間知覚のメカニズムの更なる解明が重要となることを指摘し, 頭部運動中の音像定位に関する研究動向を概観した後, 今後の課題を述べた。

本稿で述べた課題を解決するためには, 実音源では実験しづらい環境 (自由自在に動く音源など) [25] を用いた音空間知覚の検討も有効と考えられる。3次元聴覚ディスプレイは, そのような研究を行う際に極めて重要な役割を果たすだろう。また, 3次元聴覚ディスプレイを用いた研究から得られる知見は, VR に関連したマルチモーダル情

報技術・研究にとっても高い価値があると考えられる。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 24240016, 16H01736, 26540093, 19001004 の助成を受けた。また, 本研究の一部は東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究による。

文 献

- [1] 小澤賢司, “聴覚臨場感の基礎特性: コンテンツ臨場感とシステム臨場感,” 信学技報, 108(333), EA2008-115, pp. 83-88 (2008).
- [2] 本多明生, 神田敬幸, 柴田 寛, 浅井暢子, 寺本 渉, 坂本修一, 岩谷幸雄, 行場次朗, 鈴木陽一, “視聴覚コンテンツの臨場感と迫真性の規定因,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 18, 93-101 (2013).
- [3] Y. Suzuki, T. Okamoto, J. Treviño, Z. L. Cui, Y. Iwaya, S. Sakamoto and M. Otani, “3D spatial sound systems compatible with human’s active listening to realize rich high-level kansei information,” *Interdiscip. Inf. Sci.*, 18, 71-82 (2012).
- [4] 鈴木陽一, トレビーニョ ホルヘ, 坂本修一, “高臨場感空間音響技術の最新動向と将来展望,” 信学会誌, 101, 786-792 (2018).
- [5] Y. Suzuki, A. Honda, Y. Iwaya, M. Ohuchi and S. Sakamoto, “Toward cognitive usage of binaural displays,” in *The Technology of Binaural Understanding*, J. Blauert and J. Braasch, Eds. (Springer, Berlin, in press).
- [6] H. Wallach, “On sound localization,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 10, 270-274 (1939).
- [7] 岩谷幸雄, “頭部伝達関数による音像定位,” 音響学会誌, 73, 173-180 (2017).
- [8] 森川大輔, “はじめての音像定位実験,” 音響学会誌, 74, 547-554 (2018).
- [9] J. Blauert, *Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization* (MIT Press, Cambridge, MA, 1997).
- [10] H. Nakashima, Y. Chisaki, T. Usagawa and M. Ebata, “Frequency domain binaural model based on interaural phase and level differences,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 24, 172-178 (2003).
- [11] W. R. Thurlow and P. S. Runge, “Effect of induced head movement in localization of direction of sounds,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 42, 480-488 (1967).
- [12] 川浦淳一, 鈴木陽一, 浅野 太, 曾根敏夫, “頭部伝達関数の模擬によるヘッドホン再生音像の定位,” 音響学会誌, 45, 756-766 (1989).
- [13] J. Kawaura, Y. Suzuki, F. Asano and T. Sone, “Sound localization in headphone reproduction by simulating transfer functions from the sound source to the external ear,” *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 12, 203-216 (1991).
- [14] Y. Iwaya, Y. Suzuki and S. Takane, “Effects of listener’s head movement on the accuracy of sound localization in virtual environment,” *Proc. 18th Int. Congr. Acoust.*, pp. 26-29 (2004).
- [15] 平原達也, 森川大輔, “動けよ, さらば定位されん,” 音講論集, pp. 585-588 (2014.3).
- [16] A. Honda, H. Shibata, J. Gyoba, K. Saitou, Y. Iwaya and Y. Suzuki, “Transfer effects on sound localization performances from playing a virtual three-dimensional auditory game,” *Appl. Acoust.*, 68, 885-896 (2007).

- [17] A. Honda, H. Shibata, J. Gyoba, Y. Iwaya and Y. Suzuki, "Transfer effects on communication and collision avoidance behavior from playing a three-dimensional auditory game based on a virtual auditory display," *Appl. Acoust.*, **70**, 868–874 (2009).
- [18] C. S. Green and D. Bavelier, "Action video game modifies visual selective attention," *Nature*, **423**(6939), 534–537 (2003).
- [19] Y. A. Fery and S. Ponslerre, "Enhancing the control of force in putting by video game training," *Ergonomics*, **44**, 1025–1037 (2001).
- [20] A. Honda, H. Shibata, S. Hidaka, J. Gyoba, Y. Iwaya and Y. Suzuki, "Effects of head movement and proprioceptive feedback in training of sound localization," *i-Perception*, **4**, 253–264 (2013).
- [21] R. Nojima, M. Morimoto, H. Sato and H. Sato, "Do spontaneous head movements occur during sound localization?," *Acoust. Sci. & Tech.*, **34**, 292–295 (2013).
- [22] H. Sato, H. Sato, M. Morimoto and Y. Nakai, "Localization of intermittent sound with head movement: Basic study on optimum temporal characteristics of acoustic guide signals," *Appl. Acoust.*, **101**, 58–63 (2016).
- [23] J. Cooper, S. Carlile and D. Alais, "Distortions of auditory space during rapid head turns," *Exp. Brain Res.*, **191**, 209–219 (2008).
- [24] J. Leung, D. Alais and S. Carlile, "Compression of auditory space during rapid head turns," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **105**, 6492–6497 (2008).
- [25] A. Honda, K. Ohba, Y. Iwaya and Y. Suzuki, "Detection of sound image movement during horizontal head rotation," *i-Perception*, **7**, 2041669516669614 (2016).
- [26] 岩谷幸雄, 本多明生, 尾崎佑介, "頭部運動を伴う音像定位時の純音検知限," 信学技報, 116(179), EA2016-29, pp. 55–58 (2016).
- [27] A. Honda, Y. Masumi, Y. Suzuki and S. Sakamoto, "Effect of passive whole-body rotation on sound localization accuracy of listener subjective straight ahead," *Acoust. Sci. & Tech.*, **41**, pp. 249–252 (2020).
- [28] A. Honda, S. Tsunokake, Y. Suzuki and S. Sakamoto, "Effects of listener's whole-body rotation and sound duration on horizontal sound localization accuracy," *Acoust. Sci. & Tech.*, **39**, 305–307 (2018).
- [29] T. Z. Strybel and K. Fujimoto, "Minimum audible angles in the horizontal and vertical planes: Effects of stimulus onset asynchrony and burst duration," *J. Acoust. Soc. Am.*, **108**, 3092–3095 (2000).
- [30] W. Teramoto, Z. Cui, S. Sakamoto and J. Gyoba, "Distortion of auditory space during visually induced self-motion in depth," *Front. Psychol.*, **5**, 848 (2014).
-