

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 16 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26540093

研究課題名(和文)無意識な微小頭部運動は音空間感性知覚に影響を及ぼすか

研究課題名(英文)Does minute listeners' head movement affect affective aspects of human spatial hearing perception?

研究代表者

鈴木 陽一 (SUZUKI, Yoiti)

東北大学・電気通信研究所・教授

研究者番号：20143034

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では聴取者の微小な頭部運動が音像定位を超えた高度な感性情報に影響・効果を与える可能性を探り、3次元聴覚ディスプレイの高度化応用の可能性を検討した。

その結果、3次元聴覚ディスプレイを用い頭部回転中に音源の位置をわずかに移動させ、その検知限を測定したところ、検知限が静止時より上昇すること、かつ、この上昇が頭部回転運動の速度に依存しないとの興味深い結果が得られた。さらに、同様の現象は、バーチャル環境のみならず、実音源を用いた環境でも観測された。これらの結果は、微小な頭部運動の影響が音空間情報の知覚精度と感性評価では異なる特性を持つことを強く示唆するものである。

研究成果の概要(英文)： This study examines the possible effects of listeners' minute head movement on the affective aspects of human spatial hearing as well as its application to the advancement of future three-dimensional (3D) auditory displays.

To clarify the characteristics of spatial hearing during minute head movement, a virtual sound source with small spatial deviation was presented via a 3D auditory display. As a result, the detection thresholds of the small spatial deviation of the position of the sound source become larger (worse) than those in the case of static sound source localisation. Moreover, this phenomenon is hardly dependent on the speed of head movement. Similar phenomenon was also observed in an experiment with a real sound source. These are very interesting results with a high impact to the research field. Moreover, these results strongly suggest that the effects of minute head movement be different between sound localisation accuracy and affective evaluation of auditory spaces.

研究分野：音響および多感覚情報処理

キーワード：音空間知覚 感性知覚 聴覚ディスプレイ 臨場感 迫真性 高次感性 頭部運動 頭部回転

## 1. 研究開始当初の背景

我々は両耳へのわずか2チャンネルの入力に基づいて音源の位置を判断する高度な能力を有している。音が聞こえてくる位置は光の像になぞらえ音像と呼ばれ、その情報処理過程は音像定位知覚と呼ばれる。しかし、音像定位知覚には聴覚だけではなく、聴取者の動きも関与しており、頭部運動によって音像定位知覚の精度が大幅に向上することが古くから知られている。このような効果が3次元聴覚ディスプレイによるバーチャル音像でも同様であることを、申請者らの研究グループは世界に先駆けて示している。このような立場から、聴取者の頭部運動に対応して適応的に2耳への音入力を行うことにより3次元聴覚ディスプレイの高度化を進めるための研究が、申請者を含め世界的に活発に推進され続けている。

他方、リラックスして静かに音楽を聴いている場合など、頭を意識的に動かそうとしない場合であっても、回転角度に換算して1~2度程度の振幅でわずかに動いている。しかし、このような自然な微小運動が音空間知覚に与える影響・効果に関する研究は全くみられなかった。

しかし、1~2度という値は音像定位の弁別限、即ち確率75%で判別ができる状況に相当するため、このような微小回転が音像定位とは違う形で音空間知覚に影響を及ぼしていることは充分考えられる。実際、視覚や触覚などでは微細な模様(テクスチャ)が質感の決定に重要であることを考えると、自然で微小な頭部運動が、音像の質も含んだ概念である3次元音空間知覚におけるリアリティや臨場感などの感性情報に影響を与えていることが考えられる。もしこの考えが妥当するならば、自然で微小な頭部運動は感性情報の表現、操作、評価に有用である可能性があると考えたものであった。

## 2. 研究の目的

3次元音空間情報技術を高度化するうえで、3次元音空間情報提示技術、即ち3次元聴覚ディスプレイの高度化が画像技術とあわせて重要な課題である。本研究では、3次元聴覚ディスプレイについて、現在考えられている限界を超えた高度化や合理的設計につながる新技術の模索を行う。

聴取者が意識的、積極的に頭部を大きく動かす運動は音像の定位位置制御の高精度化に重要であることが知られ研究が進んでいる。その陰で、聴取者の自然で微小な頭部運動については研究が全く行われていない。そこで、微小な頭部運動が音空間の臨場感など、単なる音像定位を超えた高度な感性情報に影響・効果を与える可能性があると考え、頭部の微小運動の様相と感性情報との関連を明らかにし、3次元聴覚ディスプレイの高度化の可能性を検討する。

そのため、本研究では、聴取者に提示した

3次元音情報と頭部の自然な微小頭部運動の関係、及び、微小頭部運動の統計的性質を明らかにすると共に、微小な頭部運動が3次元音空間知覚に与える影響、効果を確認することを目的とする。また、これらの検討結果に基づいて、3次元音空間の表現・操作技術の高度化と、3次元聴覚ディスプレイアーキテクチャの高度化、及び、逆に簡素化、単純化の可能性を模索する。

## 3. 研究の方法

次の3つの課題について、心理物理学実験や頭部運動センシングの検討等を行った。

### (1) 自然な微小頭部運動の観測とモデル化

様々な特徴を有する3次元音空間情報を提示したときの聴取者の自然で微小な自発運動を観測し、与えられた3次元音空間の特徴と頭部運動の関係を明らかにして、自然な頭部微小運動のモデル化を行う。

### (2) 微小頭部運動が音空間の感性情報に与える影響の検証

①頭部の自然な微小運動がある場合と、②頭部を固定して完全に抑制した場合、③小さな頭部運動を課した場合について、3次元音空間の感性情報評価を行い、微小な頭部運動が音空間知覚に与える効果・影響を検証する。

### (3) 自然な微小頭部運動の予測法と応用に関する検討

3次元音空間情報を聴取者に与えた場合の頭部運動の予測手法を開発し、一般的な3次元聴覚ディスプレイに必要なとされる頭部運動センシングの高精度化と、逆に、センシングシステムの簡素化、単純化の可能性を模索する。

## 4. 研究成果

以下、研究の成果を年度毎に示す。

### ・平成26年度

この年度は、周波数スペクトルの異なる音源信号を長時間聴取する際の聴取者の自然な頭部運動を測定するための測定システムの構築を主眼とした。頭部運動を妨げることなく計測を可能とするため、既存の3次元位置センサのレーザを頭部頭頂に設置し、提示する音源信号と同期して頭部運動を記録できるようにすることで、音源信号の時間特性や周波数特性などの特徴量と頭部運動の分析を可能とした。

また、聴取者の頭部の意識的な運動が固定点音源の音像定位弁別限にどのような影響を及ぼすのかについても予備的な検討を行った。実験の結果、頭部運動自体は音空間知覚の精度向上に寄与するものの、頭部運動中に関しては、音像定位弁別限が上昇することが明らかとなった。これは、受動的な運動時の音空間知覚と同様で、運動中は音空間の知覚精度が低下することを示唆するものである。

・平成 27 年度

前年度の準備に基づいて聴取者の自然な頭部運動の長時間計測が可能な実験システムを構築し、以下の 2 条件により聴取実験を行った。

(条件 1) CD や DVD を自然な態度で聴取、視聴しているときの頭部運動。

(条件 2) 聴取者に様々な方向から音を提示し、その方向を向くように指示したときの頭部運動。

実験結果から、条件 1 では 10 次程度の線形予測法を用いることにより、一見ランダムな頭部運動を高い精度で予測できることが示された(図 1)。また、条件 2 では頭が大きく動いているときの運動は低次数の予測が必要であることが示された。なお、この結果に関する発表により、電子情報通信学会東北支部学生優秀発表賞(2016 年 3 月 1 日)、平成 28 年若手研究者研究発表会優秀発表賞(2016 年 3 月 1 日)を受賞した。

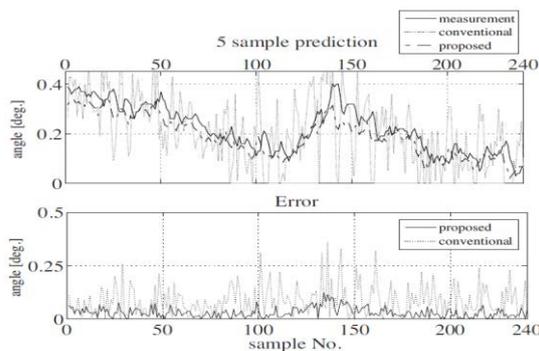


図 1 クラシック音楽聴取時のピッチ方向予測結果(上)とその予測誤差(下)。従来法に比べ提案法の予測誤差が大幅に小さいことが見て取れる。

合わせて、聴取者の頭部が 1 度/秒以下と極めて低速の運動が固定点音源の音像定位弁別限に及ぼす影響についても検討を行った。実験の結果、頭部運動自体は音空間知覚の精度向上に寄与するものの、頭部運動中に関しては、音像定位弁別限が上昇することが明らかとなった。これは、耳入力の変化というよりも運動している意識により音空間の知覚精度が低下することを示唆するものである。

本研究は当初 2 年度計画であったが、音聴取時の頭部運動を当初は予想できなかった高い精度で予測できることが明らかになり、これを更に追求することにより、より高い学術成果が得られると判断、1 年の延長申請を行い認められた。

・平成 28 年度

平成 27 年度の研究成果において、音聴取時の頭部運動の高精度予測が可能となることが示されたため、そこで生じるであろう予測誤差が 3 次元音空間知覚にどのような影響

を及ぼすかを詳細に分析することを念頭に研究期間を延長して研究を実施した。

特に平成 28 年度は、予測誤差の影響が最も顕著に表れるであろう頭部運動中の音空間知覚に焦点を当てて研究を進めた。3 次元聴覚ディスプレイを用いて頭部回転中に音源の位置をわずかに移動させ、その移動の検知限を測定したところ、移動の検知限は頭部回転運動によって上昇すること、かつ、この検知限の上昇は頭部回転運動の速度に依存せず生じるという興味深い結果が得られた。

さらに、この頭部運動中の音空間知覚精度の低下は、バーチャル環境のみならず、実音源を用いた環境でも観測された(図 2)。これらの結果は、頭部運動は音空間知覚精度の向上に寄与するという従来からの定説と矛盾するものであり、人間の動的音空間知覚を明らかにする上で重要な知見となるものである。

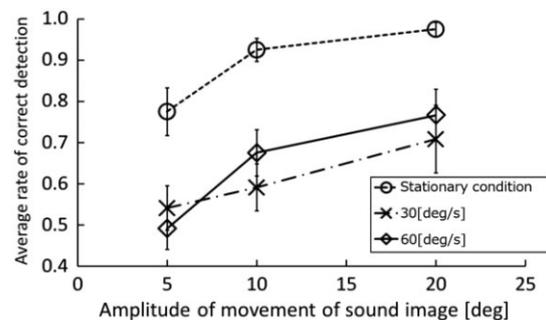


図 2 頭部運動の有無によるバーチャル音像の移動検知割合の変化 (Honda et al, i-perception, 2016)

その一方でこの知見は、本研究が着目している微少な頭部運動中は音空間知覚精度が低下することを示しており、頭部運動中は音空間再現精度をそれほど考慮しなくてもよいということを示唆している。ただし、単に音空間知覚という観点からは特に考慮しなくてもよい一方で、臨場感などの感性的な側面での影響については今後継続して研究を進めていく必要があると考えている。

以上の一連の研究期間を通して、本研究が目指した微少な頭部運動と音空間知覚との相互作用のメカニズムの一端が明らかになり、今後の聴覚ディスプレイ応用への基盤が築かれたと考えている。

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 1 件)

1. Honda, A., Ohba, K., Iwaya, Y., & Suzuki, Y., Detection of Sound Image Movement During Horizontal Head Rotation

i-Perception, 7(5), 10 pages, (2016)  
DOI : 10.1177/2041669516669614 (査読有)

[学会発表] (計 7件)

1. 角掛沙也香, 本多明生, 鈴木陽一, 坂本修二, 聴取者回転時の音像定位における multiple-look モデルの妥当性について  
日本音響学会春季研究発表会, 明治大学, 川崎市  
2017年03月15日~2017年03月17日  
(査読無)

2. Sayaka Tsunokake, Akio Honda, Yoit Suzuki and Shuichi Sakamoto  
Effects of a listener's very slow rotation on sound localization accuracy  
5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and the Acoustical Society of Japan, Honolulu, USA,  
2016年11月28日~2016年12月02日.  
(査読有)

3. Akio Honda, Yoji Masumi, Yoit Suzuki and Shuichi Sakamoto  
Minimum audible angle during passive horizontal rotation  
17th Intl. Multisensory Research Forum (IMRF), Suzhou, China,  
2016年06月15日~2016年06月18日  
(査読有)

4. Tsunokake, S., Honda, A., Suzuki, Y., and Sakamoto, S  
Sound Localization Acuity at the Subjective Front during Passive Slow Horizontal Rotation  
The RIEC International Symposium on Ultra Realistic Interactive Acoustic Communications 2016 (ISURAC 2016)  
Miyagi Zao, Japan  
2016年05月20日~2016年05月21日  
(査読無)

5. 中井 彬人, 鈴木陽一, Jorge Trevino  
予測による静的および動的聴取時の頭部運動予測モデルの構築  
平成28年東北地区若手研究者研究発表会  
「音・光・電波・エネルギー・システムとその応用」, 仙台高等専門学校, 仙台市  
2016年03月01日  
(査読無)

6. 角掛沙也香, 本多明生, 鈴木陽一, 坂本修二, 遅い頭部回転中の音像定位における主観的正面の検知限  
日本音響学会 聴覚研究会, 勝沼ぶどうの丘, 甲州市  
2015年11月13日~2015年11月14日  
(査読有)

7. Akio Honda, Yoji Masumi, Yoit Suzuki and Shuichi Sakamoto  
Passive horizontal rotation affects sound localization acuity at the subjective front  
16th International Multisensory Research Forum (IMRF2015), Pisa, Italy,  
2015年07月13~16日 (査読有)

[その他]  
研究紹介ホームページ  
<http://www.ais.riec.tohoku.ac.jp/Lab2/multi-modal/index.html>  
<http://www.ais.riec.tohoku.ac.jp/Lab2/display/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

鈴木 陽一 (SUZUKI, Yōiti)  
東北大学・電気通信研究所・教授  
研究者番号: 2 0 1 4 3 0 3 4

### (2) 研究分担者

坂本 修一 (SAKAMOTO, Shuichi)  
東北大学・電気通信研究所・准教授  
研究者番号: 6 0 3 3 2 5 2 4

大谷 智子 (OHTANI, Tomoko)  
東京藝術大学・芸術情報センター・助教  
研究者番号: 4 0 4 2 2 4 0 6