

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 18 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26280067

研究課題名(和文)人間の外界空間認識過程に基づく自己運動感応型バーチャル視聴覚空間創成技術の確立

研究課題名(英文)Development of advanced virtual audio-visual space reproduction technology using human perceptual process concerning external recognition

研究代表者

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：60332524

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、多感覚情報処理過程として知られる自己運動知覚に着目し、視聴者周囲の空間を対象として、その空間内での視覚・聴覚・前庭覚による自己運動知覚メカニズムの解明と、そこでの視聴覚情報処理メカニズムを明らかにし、その知見を自己運動感応型VR空間創成技術へと深化させることである。研究の結果、自己運動時における外界知覚では、自己運動自体と密接に結びついて提示されることになる感覚情報の整合性が重要であること、さらに、外界環境の変化の検知において自己運動とその変化の関連が重要な役割を果たしていることといった、自己運動感応型VR空間創成技術の確立に必要な不可欠な基盤的な知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to investigate the human perceptual process concerning the interaction among auditory, visual, and vestibular information. This knowledge is also used to develop three-dimensional audio-visual space reproduction technology, which is a very important part of virtual reality systems. The results of the experiments indicated that these three types of sensory information are closely integrated when people are moving. This interaction plays an important role for human to perceive the external world stably. The results also revealed that they sensitively perceive the approaching motion of a sound-object when people are moving forward. This observation would be ecologically reasonable to escape from approaching object. These findings are crucially important to synthesize accurate and real virtual spaces.

研究分野：音・マルチメディア知覚工学

キーワード：バーチャルリアリティ マルチモーダルインタフェース 認知科学 情報システム

### 1. 研究開始当初の背景

よりリアルで感性高く様々な感覚情報を通信する次世代情報通信システムの実現が現実味を帯びてきている。このようなシステムを開発する際には、複数の感覚に同時並列的に入力された情報を人間がどのように統合処理するかを理解することが必要不可欠である。特に、モーションシミュレータなど空間提示に関するシステム開発が進んでいる現在では、人間自身の動き(自己運動)と視聴覚を中心とした外界認識過程の関数に関する高度な理解がシステムの深化やバーチャルリアリティ(VR)技術の更なる進展に必須である。

この自己運動と外界認識過程の関数に関するこれまでの研究の多くは、「人間は様々な感覚入力からどのように自己運動や自己進行方向を知覚しているのか」という問いのもとに行われ(例えば, Brandt, *et al.*, 1973, *Exp Brain Res.*; Warren, *et al.*, 2001, *Nature Neurosci.*; Sakamoto *et al.*, 2004, *Acoust. Sci. & Tech.*), それに必要な情報を適切に提示するという意味で VR システムにおける自己運動提示において有用な知見を提供してきた。

その一方、自己運動情報は自分の動きに関する意識経験の成立のためだけにあるのではなく、外界把握と外界への働きかけを適切に導くためにもあることを考えると、自己運動時の対象の運動や対象位置の知覚など、「自己運動時に人間はどのような(視聴覚)空間を知覚しているのか」という視点も重要と思われる。しかし、この視点での研究は非常に少なく、空間における人間のリアルで自然な振る舞いを理解する上で重要な知見がかけられている状態であった。もし、ユーザの動きとそれに伴う外界空間認識の変化を十分に考慮した情報提示が可能になれば、ユーザに高い臨場感や実在感など豊かな感性情報を効率的、かつ、効果的に伝えることができる VR システム実現につながると期待できる。

### 2. 研究の目的

このような問題意識の元、本研究では、マルチモーダル感覚情報処理過程である人間の外界認識過程に根差した高い臨場感を有する VR 空間の構築を目指し、視聴者周囲の空間を対象として、その空間内での視覚・聴覚・前庭覚による自己運動知覚メカニズムの解明とそこで行われる視聴覚情報処理メカニズムの検討を進めるとともに、その知見を自己運動感応型 VR 空間創成技術へと深化させることを目的とする。この研究により、前庭覚情報をはじめとする自己運動情報と視聴覚情報を用いたリアルな空間情報を臨場感高くバーチャルに提示可能な VR 空間創成システムの構築が可能となる。

### 3. 研究の方法

東北大学電気通信研究所が有する 2 種類の

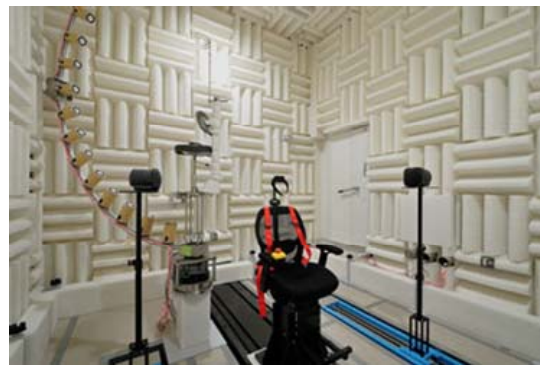


図 1: 静音型リニアレール

自己運動提示装置(静音型リニアレール: 図 1, 自走式台車: 図 2)を用いて、自己運動中の外界空間知覚メカニズムを明らかにする。具体的には、視覚-聴覚-前庭覚を組み合わせて提示することで自己運動を知覚させ、その際の外界空間情報、特に聴空間情報の知覚様相を



図 2: 自走式台車

分析する。その際には、自己運動の能動性・受動性も考慮し、それらを含めた様々な要因が外界空間知覚に及ぼす影響を定量評価する。得られた知見に基づいて、自己運動の能動性・受動性も含めた人間の外界空間知覚モデルの構築を進め、視聴者の自己空間を精密に再現可能な自己運動感応型 VR 空間創成技術としてまとめていく。

### 4. 研究成果

自己運動中の外界空間知覚という観点で研究を進めた本研究では、提示される自己運動の種類を体系的に変化させてそれぞれの状態で知覚される外界空間の差異を分析することが重要となる。ここでは、提示された自己運動の知覚に寄与する感覚情報、自己運動の能動性と受動性という二つの観点で得られた成果をまとめて記述する。さらに、外界空間とユーザとのインタラクションを想定し、自己運動時に外界空間自体が変化する状態での外界空間の知覚に関して論じる。

#### 4.1. 自己運動を誘起する感覚情報の差異と外界空間知覚

自己運動知覚は視覚、前庭感覚、自己受容感覚を始めとする様々な感覚情報の統合処理によって知覚されるマルチモーダル感覚情報処理過程であり、その中でも視覚情報の寄与が極めて大きい。視覚誘導性自己運動知覚(vection)は視覚情報の寄与の大きさを示す典型的な現象である。そこで本研究では、図 1 に示す静音型リニアレールによって実際に加速度運動を行っている状態で、それに合

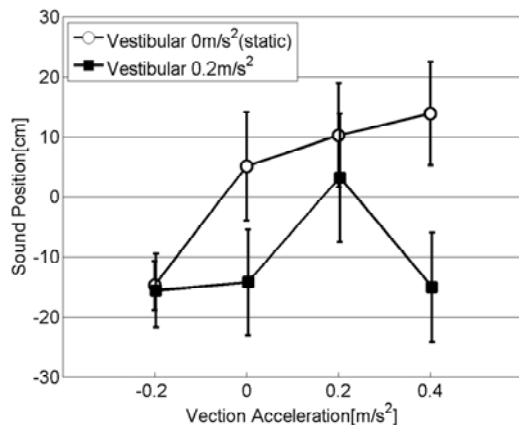


図 3：視覚，前庭感覚情報提示時の主観的真横

わせた視覚情報の有無により外界空間知覚がどのように変容するのかについて分析した。すなわち，前庭感覚と視覚のそれぞれに情報が提示されている状態での外界空間知覚の検討を行った。

実験では， $0.2\text{m/s}^2$  で前進加速度運動する状態で，その動きに合わせて  $0.4\text{m/s}^2$ ， $0.2\text{m/s}^2$ ， $0\text{m/s}^2$ ，および， $-0.2\text{m/s}^2$  での動きに相当するランダムドットを head-mounted display (HMD) で提示し，主観的真横位置を回答させた。さらに，同様の実験を静止状態でも行い両者の比較を行った。その結果，図 3 に示したとおり，提示された視覚情報と前庭感覚情報が整合している場合，もしくは，視覚情報のみ提示された場合に，これまでに得られた自己運動中の主観的真横のシフト (Teramoto *et al.*, PLoS ONE, 2012, Teramoto *et al.*, Front. Psychol., 2014) と同様の結果が得られた。この結果は，自己運動時に提示される感覚情報の整合性が外界空間知覚に影響を及ぼすことを示しており，VR 空間創成技術において自己運動を考慮して感覚情報を提示する際に重要な知見である。

その一方で，今回の視覚情報のみの結果は，単一感覚情報のみを提示しただけでも，整合した複数感覚情報を提示した場合と同様の外界空間知覚が行われることを示唆している。そこで，視覚情報のみにより誘起される自己運動中の人間の視知覚特性を明らかにすべく，ベクション生起時の静止運動残効と動的運動残効を調べた。その結果，静止運動残効はベクションの強さに反比例するのに対し，動的運動残効はベクションの強さに比例していた。静止運動残効と動的運動残効はそれぞれ低次と高次の視覚運動処理を反映していることから，高次の大域運動処理系で得られた自己運動情報等を使って，低次の局所運動処理が抑制されている可能性が示唆された。これは自己運動時に安定した視覚世界を構築する仕組みの一部と考えられる。

#### 4.2. 自己運動の能動性，受動性が外界空間知覚に及ぼす影響

様々な知覚現象においてその際の能動性，受動性が影響を及ぼすことは広く知られて

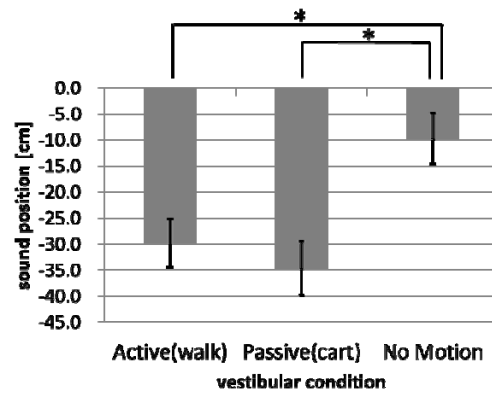


図 4：自己運動の能動性と受動性が主観的真横に及ぼす影響

いる。自己運動に関しても，能動的な運動の場合には自分自身の動きが予測できることから，受動的な運動との知覚様相が異なることが想像される。そこで，図 2 の自走式台車を用いて直線運動を提示する条件と，実際に自分自身で同じ速度で歩行した条件とで，知覚される主観的真横について分析を行った。図 4 に実験の結果を示す。この結果から，今回の実験では自己運動の能動性と受動性は自己運動中の外界空間知覚には特に影響は及ぼさないことが示唆された。ただし，ここで扱った自己運動は  $0.4\text{m/s}^2$  と極めて遅いことや，能動運動時には目隠しをして歩くなど，通常の自己運動とは若干異なる動きを対象としたことから，この結果についてはさらなる実験，分析が必要と考えている。

#### 4.3. 自己運動中の外界空間変化の知覚

インタラクションを考慮した VR 空間を構築する際には，ユーザの意図，動作に応じて外界空間が変化するという状況が考えられる。すなわち，ユーザと外界とのインタラクションである。したがって自己運動中に外界空間が変化した場合に，その変化がどのように知覚されるかといった知見は，インタラクションが可能な VR 空間を精度高く構築する上で重要となる。そこで，図 1 の静音型リアールを用いて前進直線加速度運動を提示し，仮現運動により摸擬された自己に対する接近音と後退音の移動の検知限を分析した。実験では，視覚情報を遮断した状態で直線等加速度運動を提示し，速度が  $0.9\text{m/s}$  に到達した状態で実験参加者の前方  $1.7\text{m}$  を中心として設置したスピーカアレイから接近音 (基準スピーカと手前側の一つのスピーカから連続して刺激音を提示) と後退音 (基準スピーカと奥側のいずれか一つのスピーカから連続して刺激音を提示) を提示して，移動の弁別限を求めた。実験結果を図 5 に示す。図 5 を見るとわかるとおり，前進加速度運動時には，自己に対して接近してくる音の移動の弁別限の方が，遠ざかっていく後退音の移動の弁別限よりも有意に低くなるという結果が得られた。視覚においても，放射状拡大運動と縮小運動とでは脳内での情報処理過

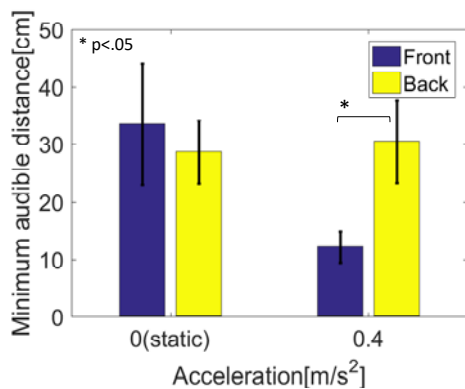


図 5：前進加速度運動中の接近音と後退音の移動の検知限

程に幼児の段階から非対称性が存在する (Shirai *et al.*, Dev. Sci., 2009) という結果結果が得られており、自己運動とそれに伴う環境変化に対する知覚特性の違いという点で興味深い結果である。特に聴覚情報はイベントに関連して生じる感覚情報であることを考えると、前方から接近してくる危険物の回避という観点でも生態学的に妥当する結果と考えることができる。この知見を総合すると、VR 技術で様々な感性空間を創成する際には、自己運動に対応させて特に音源が接近するような場合に、同時提示する視覚情報を実際よりも近くに提示した方がよりリアルに知覚させられる可能性が示唆される。ちなみに、VR 空間における奥行き情報の操作と高次感性知覚に関しては、3 次元映像を付加した多感覚コンテンツを用いた実験により、奥行き情報を付加することで他の感覚情報から誘起される臨場感、迫真性を強調する可能性が示されている。なお、この成果に関連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 (2017 年 3 月 4 日) を受賞した。

以上これらの成果を通して、本研究が目指した自己運動感応型 VR 空間創成技術に必要な要素技術とその知見を用いたシステム設計指針への確立の見通しが見えてきたと考えている。

##### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- [1] S. Sakamoto, H. Yagyu, Z. Cui, T. Ohtani, Y. Suzuki, and J. Gyoba, "Temporal characteristics of perceived reality of multimodal contents," Proc. 12th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP 2016), IIHMSP-2016-IS08-5 (8 page manuscript), 2016 (査読有)
- [2] S. Sakamoto, Z. Cui, T. Ohtani, Y. Suzuki, and J. Gyoba, "Effects of vibration information on the sense of presence and verisimilitude of audio-visual scenes," Proc.

internoise2016, Mon:18-2-5, 1777-1782, 2016 (査読有)

- [3] S. Sakamoto, W. Teramoto, H. Terashima, and J. Gyoba, "Effect of active self-motion on auditory space perception," Interdisciplinary Information Sciences, 21(2), 167-172, <http://doi.org/10.4036/iis.2015.A.08>, 2015 (査読有)
- [4] S. Sakamoto, W. Teramoto, and J. Gyoba, "Auditory space perception during linearly self-motion," Proc. Forum Acusticum 2014 (FA2014), 6-page manuscript, 2014 (査読有) [学会発表](計 16 件)
- [1] 坂本修一, サルバドル セザル, トレビニョ ホルヘ, 鈴木陽一, "球状マイクロホンアレイを用いたバイノーラル 3 次元音空間創成手法", 電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 2017 年 3 月 6~7 日, 宮古島マリナターミナルビル, 宮古島市 (招待講演)
- [2] 崔正烈, 柳生寛幸, 坂本修一, 行場次朗, 鈴木陽一, "多感覚コンテンツの高次感性知覚に音情報から生成した振動情報が及ぼす影響", 電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 2017 年 3 月 6~7 日, 宮古島マリナターミナルビル, 宮古島市
- [3] 野田美春, 坂本修一, 崔正烈, 寺本涉, 鈴木陽一, 行場次朗, "直線加速度運動中における接近および後退音の音像定位弁別限の差異", 平成 29 年東北地区若手研究者研究発表会, 2017 年 3 月 4 日, 東北学院大, 多賀城市
- [4] 柳生寛幸, 崔正烈, 坂本修一, 鈴木陽一, 行場次朗, "生成振動情報を含む多感覚コンテンツの高次感性評価", 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会, 2016 年 12 月 20, 21 日, 東北大, 仙台市
- [5] S. Sakamoto, W. Teramoto, A. Honda, Y. Suzuki, and J. Gyoba, "Auditory space perception during self-motion," 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and the Acoustical Society of Japan, 2016 年 11 月 28~12 月 2 日, Hawaii, USA (invited lecture)
- [6] S. Sakamoto, H. Yagyu, Z. Cui, T. Ohtani, Y. Suzuki, and J. Gyoba, "Temporal characteristics of perceived reality of multimodal contents," 12th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP 2016), 2016 年 11 月 21~23 日, Kaohsiung, Taiwan (invited lecture)
- [7] 柳生寛幸, 崔正烈, 坂本修一, 鈴木陽一,

- 行場次朗, “音情報から生成した振動情報が多感覚コンテンツの高次感性評価に与える影響”, 日本バーチャルリアリティ学会第21回大会, 2016年9月14~16日, つくば国際会議場, つくば市
- [8] S. Sakamoto, Z. Cui, T. Ohtani, Y. Suzuki, and J. Gyoba, “Effects of vibration information on the sense of presence and verisimilitude of audio-visual scenes,” *internoise2016*, 2016年8月21~24日, Humburg, Germany (**invited lecture**)
- [9] W. Teramoto, “Negative correlation between strength of visually induced self-motion and subsequent motion aftereffects,” *International Congress of Psychology 2016*, 2016年7月24~29日, Yokohama, Japan
- [10] Z. Cui, S. Sakamoto, and Y. Suzuki, “Effect of vertical vection on vertical sound localization,” *17th International Multisensory Research Forum (IMRF)*, 2016年6月15~18日, Suzhou, China
- [11] S. Sakamoto, K. Hanakago, Z. Cui, W. Teramoto, Y. Suzuki, and J. Gyoba, “Effect of visual and vestibular information on auditory space perception,” *171st Meeting of the Acoustical Society of America*, 2016年5月23~27日, Salt Lake City, USA
- [12] 崔正烈, 坂本修一, 鈴木陽一, “上下方向ベクシオン知覚中の正中面音像定位”, 日本音響学会聴覚研究会資料, 2016年2月20, 21日, 那覇市IT創造館, 那覇市
- [13] 花籠慶史, 坂本修一, 寺本渉, 鈴木陽一, 行場次朗, “横方向への直線等加速度運動が音空間知覚に与える影響”, 日本音響学会聴覚研究会, 2015年11月13, 14日, 勝沼ぶどうの丘, 甲州市
- [14] S. Sakamoto, W. Teramoto, and J. Gyoba, “Auditory space perception during linearly self-motion,” *Forum Acusticm 2014 (FA2014)*, 2014年9月7~12日, Krakow, Poland (**invited lecture**)
- [15] 花籠慶史, 坂本修一, 寺本渉, 鈴木陽一, “刺激音の時間長が自己運動中の音空間知覚に与える影響”, 平成26年度電気関係学会東北支部連合大会, 2014年8月21, 22日, 山形大学工学部, 米沢市
- [16] W. Teramoto, and H. Hoshiga, “Anisotropies in apparent displacements of a visual target during large-field visual motion stimulation,” *Asia-Pacific Conference on Vision*, 2014年7月19~22日, Takamatsu, Japan

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

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: 60332524

### (2) 研究分担者

寺本 渉 (TERAMOTO, Wataru)  
熊本大学・文学部・准教授  
研究者番号: 30509089