

修士論文

仮想環境内で効果音の動きがバーチャル
リアリティ酔に及ぼす影響

平成 23 年度修了

三重大学大学院 工学研究科
博士前期課程 情報工学専攻

楠本 直毅

要旨

近年、映画、テレビ、ゲーム、アミューズメントパークなど、日常生活の様々な場面において三次元映像を使用したバーチャルリアリティ（VR）を体験する機会が増えてきている。しかし、VR体験は高い臨場感を得られる半面、乗り物酔いに似た不快感を誘発することがあり、問題となっている。

これまでの研究で、映像の動きに対して音の動きを一致させた点音源を配置することで、無音（映像のみ）の場合や、映像の動きに対して音の動きが不一致である場合に比べて、VR酔いは軽減されることが示されている。

しかし、映像に対して一致させた音の動きには、様々な動きの成分（Roll, Pitch, Yaw, Linear など）が含まれている。そのためどの動きの成分がVR酔いの軽減や、臨場感の上昇に起因しているのかまでは明らかにならなかった。

そこで、一致させる音の動きの成分（今回は Roll と Linear に着目）を分割して、映像に付加することで、どの音の動きの成分がVR酔いや臨場感に影響を与えているのかを明らかにすることを本研究の目的とした。

今回の実験では、映像に対して一致させる音の動きの成分を Roll（上下が入れ替わる回転運動）と Linear（前後運動）に分割し、さらにそれぞれの音の動きに対して、《視覚-聴覚》の矛盾の有無、《聴覚-前庭感覚》の矛盾の有無の組み合わせを7種類用意した。この7種類の様々な音響条件下で実験を行い、不快感、没入感、自己運動感覚にどのような影響があるのかを研究した。

街を模擬した全長100mの仮想空間を一区間として作成し、それを並べることによって直線道路を作成した。その中に、「工事現場」、「群衆」の2つの固定された点音源オブジェクトを道路にそれぞれ配置した。視野角103度をもつ視点が街の中を移動する際に、X軸に対して10度傾けた状態で、秒速4.720m/sで直進（Linearな動き）をしながら、角速度72deg/sでRoll回転を行わせた。Roll回転をする際には、10秒（2回転）ごとに、回転方向が逆になるような運動を行わせた。

実験に使用する刺激の種類は、(1)一致：Roll、Linear共に映像と音の動きが一致 (2) R：Rollのみ映像と音の動きが一致、Linearは不動 (3) L：Linearのみ映像と音の動きが一致、Rollは不動 (4) 不動：映像に対して音の動きがない (5) MS_R：Rollのみ映像と音の動きが不一致、Linearは不動 (6) MS_L：Linearのみ映像と音の動きが不一致、Rollは不動 (7) 不一致：Roll、Linear共に映像と音の動きが一致していない、以上7条件を用意した。

評価方法は、7種類の刺激に対して3つの評価項目（不快感、没入感、自己運動感覚）について、0～10の11段階の序数尺度でそれぞれを評価させた。被験者は、視覚障害、内耳障害のない健全な男女10名、総試行数280回であった。

Roll回転とLinearな動きに対して《視覚-聴覚》と《聴覚-前庭感覚》の両方を矛盾させる（映像と音の動きに関して不一致が存在する）と、不快感は高くなり、没入感及び自己運動感覚は低くなる傾向が見られた。これは《視覚-聴覚》、《聴覚-前庭感覚》及び《視覚-前庭感覚》の全てが不一致となり、感覚情報の矛盾が多く発生したため、不快感、没入感、自己運動感覚に影響を与えたと考えられる。

Roll回転に対して《聴覚-前庭感覚》の矛盾を含む刺激は、《視覚-聴覚》の矛盾を含む刺激より、比較的不快感が高くなる結果となった。この理由は《視覚-前庭感覚》は常に矛盾しているため、《聴覚-前庭感覚》を矛盾させることで、映像と音が共に上下が入れ替わるような激しい動きをすることとなり、前庭感覚との感覚情報の矛盾がより強く生じることで、不快感が高まったと考えられる。

Linearな動きに対して《聴覚-前庭感覚》の矛盾を含む刺激は、《視覚-聴覚》の矛盾を含む刺激より、比較的没入感と自己運動感覚が高くなる結果となった。これは、Linearは前後の動きであるので、動いている映像に対して、音の強弱によって動いているという聴覚的な刺激をより強く与えられたため、没入感と自己運動感覚が高くなったと考えられる。但し、この時Linear動きに対して《視覚-聴覚》の矛盾も含んでいた場合、映像と音の動きが不一致となり、没入感及び自己運動感覚の上昇はあまり見られなかった。

以上のことから、映像と音の動きが一致した（あるいは部分的に一致している）場合、映像と音の動きが一致していない場合と比べて、不快感は抑制され、没入感、自己運動感覚は上昇することが示された。

また、映像と音の動きを一致させる時、映像と音をRoll回転に関して一致させると不快感が増加する傾向を示し、映像と音をLinearな動きに関して一致させると没入感及び自己運動感覚に大きく影響することが示された。

今回の結果を応用すれば、3D映像視聴時に激しい動き（Roll回転）を伴う場面では、Roll回転をする映像に対して音の動きをあえて無くし、Linearな動きのみ一致させることで、没入感と自己運動感覚の減少を抑えながら、不快感を軽減できると考えられる。

目次

1	序論	4
1.1	はじめに	4
1.2	先行研究	4
1.3	研究の目的	5
2	VR (VIRTUAL REALITY)	6
2.1	VR とは	6
2.1	VR の構成要素	6
3	動揺病	7
3.1	動揺病とは	7
3.2	発生原因	7
3.3	症状	7
4	実験	8
4.1	実験目的	8
4.2	実験システム	9
4.3	映像	10
4.4	実験用刺激の種類	11
4.5	被験者	12
4.6	実験手順	12
4.7	実験結果	13
5	考察	16

1 序論

1.1 はじめに

近年、映画、テレビ、ゲーム、アミューズメントパークなど、日常生活の様々な場面において三次元映像を使用したバーチャルリアリティ（VR）を体験する機会が増えてきている。大型ディスプレイを用いた映像や、3D映画、3Dテレビなどの普及によって、高い臨場感を得られる映像を目にする機会も多くなってきた。しかし、VR体験は高い臨場感を得られる反面、乗り物酔いに似た不快感を誘発することがあり、問題となっている。三次元映像や大画面映像などの視覚刺激によって生じる不快感のことを視覚性動揺病と呼び、激しい動きを伴う映像を見ることで自己運動感覚が生じ、視覚と前庭感覚との間に矛盾が起こることにより、視覚性動揺病（不快感）が誘発されると考えられている。

またVR体験は、映像のみならずBGMや効果音など、音の要素も重要である。そのため視覚、前庭感覚に加え聴覚を含めたの三つの感覚の関係性を研究することがVR酔いのメカニズム解明にとって重要であり、ひいてはVR体験時におけるVR酔いの軽減方法に繋がると考えられる。

1.2 先行研究

先行研究では、3D映像に効果音を付加することによるバーチャルリアリティ酔いへの影響を調べた。視覚障害や内耳障害のない健康な男女96人を被験者とし、総試行数2688回の実験を行った。点音源となる時計、電話、やかん、鳥を、室内を模擬した仮想空間内に配置した。点音源や音楽、環境音（セミの音）など6種類を効果音として加えた場合と、無音の場合の計7種類の音響条件下で、ロールやヨー回転をしながら室内を動き回る3D映像（120°W×48°H）を被験者に視聴させた。40秒間の刺激で感じる「不快感」、「没入感」、「自己運動感覚」を11段階の序数尺度で評価させた。映像と音の動きを一致させた場合に不快感は低く、没入感と自己運動感覚は高くなった。無音の場合に不快感が最も高く、没入感と自己運動感覚は最も低い結果となった。一方、音楽を付加した場合は、没入感と自己運動感覚はあまり高くないものの、不快感は最も低い結果となった。これらの結果から、点音源を配置して映像と音の動きを同時に与えると酔いを軽減できること、更に音楽を付加すると臨場感はやや低下するものの不快感を抑制するのに効果的であることが示された。

1.3 研究の目的

これまでの研究で、映像の動きに対して音の動きを一致させた点音源を配置することで、無音（映像のみ）の場合や、映像の動きに対して音の動きが不一致である場合に比べて、VR酔いは軽減され、没入感や自己運動感覚は増加することが示されている(1.2 参照)。また崔ら[1]は、動く映像に対して、動く音場を聴覚刺激として提示することで、自己回転運動感覚が増加することを示している。

しかし、映像に対して一致させた音の動きには、様々な動きの成分(Roll, Pitch, Yaw, Linear など)が含まれている。そのためどの動きの成分がVR酔いの軽減や、臨場感の上昇に起因しているのかまでは明らかにならなかった。

そこで、一致させる音の動きの成分（今回は Roll と Linear に着目）を分割して、映像に付加することで、どの音の動きの成分が VR 酔いや臨場感に影響を与えているのかを明らかにすることを本研究の目的とした。

2 VR (VIRTUAL REALITY)

2.1 VR とは

VR(VIRTUAL REALITY)とは、コンピュータグラフィックスによる視覚効果や音響効果を組み合わせることで、現実には存在しないのにも関わらず、実際にそこに存在したり、触れたりするような感覚を与える空間や物体を作り出す技術である。

VR(VIRTUAL REALITY)という用語は、1987年にNASA(米航空宇宙局)がVPL Research社に発注して開発した「VIEW」(仮想環境ワークステーション)というシステムの開発プロジェクトに際して使い始めた語で、語感の先進的な響きとシンプルさが受け入れられて、コンピュータシステムで現実感を作り出す技術の総称として定着した。

2.2 VR の構成要素

単に「人工的な現実感」といった場合には、例えば小説や映画といったメディア表現も含まれるが、VRの構成要件としては以下の要素が必要とされる。

1. 体験可能な仮想空間(virtual world)の構築、
2. 五感(のうちのいくつか)に働きかけて得られる没入感(immersion)、
3. 対象者の位置や動作に対する感覚へのフィードバック(sensory feedback)、
4. 対象者が世界に働きかけることができる対話性(interactivity)

以上の4つである。うしろの3つを構成要件する場合もある。この基準に照らせば、例えば小説には視聴覚による没入感が欠け、映画には対話性が欠けるため、VRとはみなされない。

3 動揺病

3.1 動揺病とは

動揺病とは、乗り物の動揺による前庭迷路への異常な加速度刺激の反復により、自律神経機能障害を起こし発症する身体の病的状態をいう。各種の乗り物に乗ったときに発症するので乗り物酔いというが、船酔い、車酔い、空酔い、宇宙酔いなどがあり加速度病ともいう。VR酔いもその一つである。

乗り物の動揺の加速度刺激として直線・遠心力・および角加速度があり、空酔い、宇宙酔いではコリオリ加速度が加わる。動揺病は、車酔いや船酔い、遊園地の仕掛けなど受動運動、シネママ酔い、コリオリ刺激（回転椅子上の頭部運動など）、視野逆転眼鏡装着など、極めて多様な状況で起こる。いずれも前庭器、視器あるいは両者を通して空間識に異常をきたした場合である。

3.2 発生原因

動揺病が発生するメカニズムは、まだ完全には解明されていないが、過剰刺激説、体液流動説、中毒説、姿勢不安定説、感覚矛盾説などといったいくつかの説がある。その中で、現在最も有力とされているのが、「感覚矛盾説」である。

感覚矛盾説とは、空間感覚、つまり平衡感覚、視覚、非前庭系位置感覚（関節や筋肉などの位置感覚）からの各信号が互いに矛盾することで、過去の経験に基づいて我々が予測したものと矛盾するために発症するという説である。例えば、乗り物酔いは、視覚では自分は止まっているように感じるが、平衡感覚では動きを感じるため不快感が発生し、逆に映像酔いは、視覚では動いているように感じるが、平衡感覚は静止していると感じるために不快感が発生する。

3.3 症状

動揺病の症状として、嘔吐、吐き気、生つば、顔面蒼白、めまい、冷や汗などの症状があらわれる。症状は、数時間で治まることが多いが、1日以上続くこともある。

4 実験

4.1 実験目的

先行研究（1章参照）では、映像の動きに対して音の動きを一致させた点音源を配置することで、無音の場合や、映像の動きに対して音の動きが不一致である場合に比べて、VR酔は軽減されることが示されている。

この結果を受け今回の実験では、映像に対して一致させる音の動きの成分を **Roll**（上下が入れ替わる回転運動）と **Linear**（前後運動）に分割し、さらにそれぞれの音の動きに対して、視覚と聴覚の矛盾の有無、聴覚と前庭感覚の矛盾の有無の組み合わせを7種類用意した。この7種類の様々な音響条件下で実験を行い、不快感、没入感、自己運動感覚にどのような影響があるのかを研究した。また評価項目として、

- 不快感： 「気持ち悪いと感じる感覚」
 - 没入感： 「自身が仮想空間内にいるような感覚」
 - 自己運動感覚： 「自身が動いているような感覚」
- とそれぞれを定義した。

この実験を行うことで、映像の動きに対して VR酔の軽減や、臨場感の上昇により影響を与えている音の動きの成分を特定することをこの実験の目的としている。

これまでの研究結果より、映像の動きに対して音の動きの成分を一致させることで、音の動きの成分が不一致である場合に比べて没入感、自己運動感覚は大きくなり、不快感は比較的小さくなると考えられる。また、Rollの聴覚と前庭感覚の矛盾を含む刺激は、上下が入れ替わるような刺激であり、VR酔を誘起しやすくなるため、不快感は大きくなると考えられる。Linearの視覚と聴覚の矛盾がないものは、映像に対する前後の音の動きが認識しやすくなるため没入感、自己運動感覚は大きくなると考えられる。

以上の仮説と効果を検証するために実験を行った。

4.2 実験システム

映像に関しては、6台のパーソナルコンピュータ（DELL INC DCTA）によって3次元映像を作りだした。6台のプロジェクタ（SANYO DLP プロジェクタ PDG-DXT10JT）を使用して、スクリーン（図 4.2.1）を左側、中央、右側に分割し映像を投影した。長さ 10m、高さ 2.6m、スクリーンの中心から 4m離れた位置から見た水平視角 103 度、垂直視角 36.0 度の円筒スクリーンに実験映像を投影した。映像に対して集中力を高めるため、実験室の床や壁を黒くし、スクリーン以外の視覚刺激を遮断し、反射物の少ない暗室で実験を行った。効果音に関しては、1台のパーソナルコンピュータと、映像に同期をさせるため、映像に用いたものと同じ 3DGM 用ソフトウェアによって音像を作り出した。音響は、パーソナルコンピュータのサウンドボード、アンプ（Pioneer 社製 VSA-AX5Ai）、ヘッドフォン（Victor 社 HP-D5）を用いた。



図 4.2.1 実験用大型スクリーン

4.3 映像

街を模擬した全長 100m の仮想空間を一区間として作成し、それを並べること
で直線道路を作成した。その中に、「工事現場」、「群衆」の 2 つの固定され
た点音源オブジェクトを道路（左右：X 軸、上下：Y 軸、前後：Z 軸）の中心線
から各区間ごとに、工事現場（X 軸：5.00m、Z 軸：30.0m）、群衆（X 軸：-5.00m、
Z 軸：80.0m）の位置にそれぞれ配置した（図 4.3.1 参照）。また点音源は「工
事現場」、「群衆」の 2 つの発音物体を連想させる音を用いた。

視野角 103 度をもつ視点が街の中を移動する際に、X 軸に対して 10 度傾けた
状態で、秒速 4.720m/s で直進（Linear な動き）をしながら、角速度 72deg/s で
Roll 回転を行わせた。Roll 回転をする際には、10 秒（2 回転）ごとに、回転方
向が逆になるような運動を行わせた。

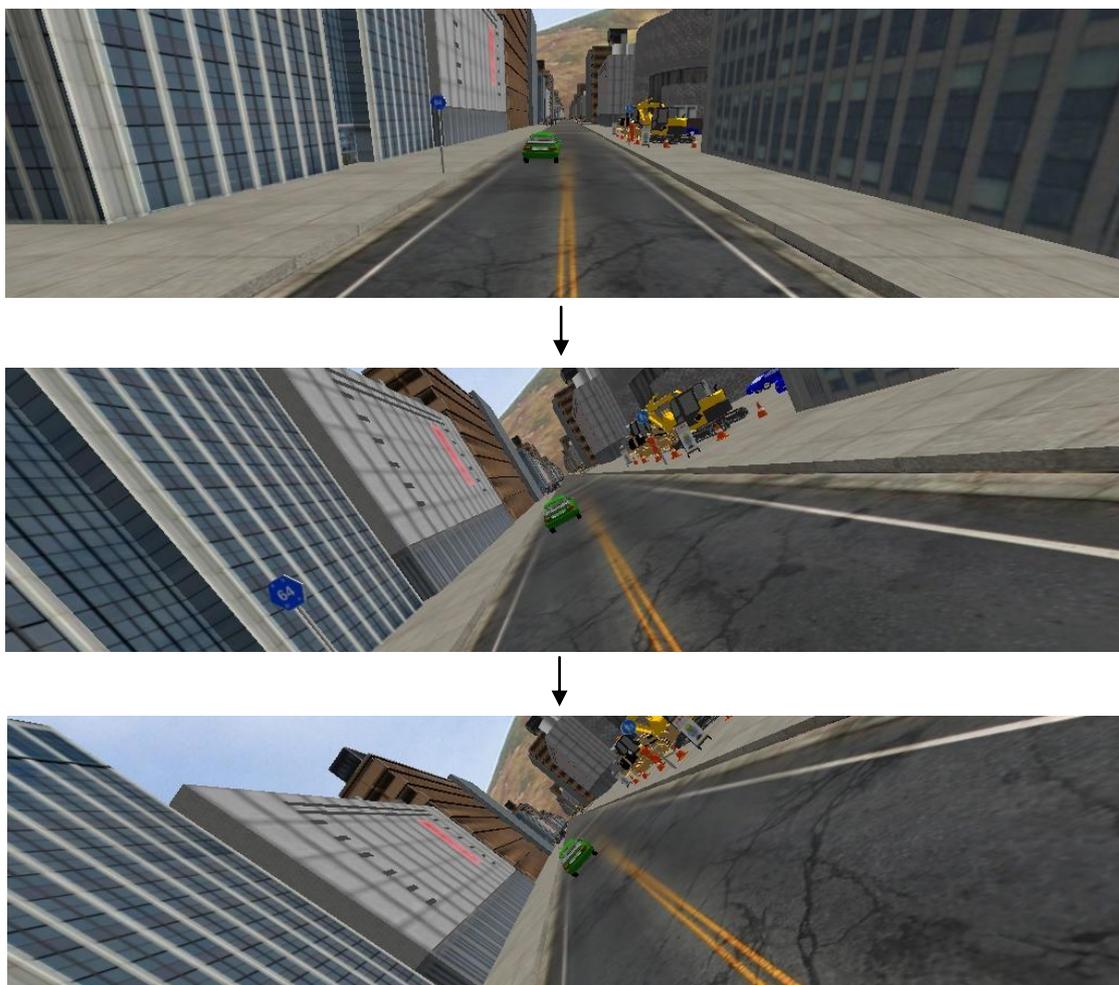


図 4.3.1 実験映像（映像の推移）

4.4 実験用刺激の種類

組合せは以下の7種類を用意した

- 1、一致：Roll、Linear 共に映像と音の動きが一致。
- 2、R：Rollのみ映像と音の動きが一致、Linearは不動。
- 3、L：Linearのみ映像と音の動きが一致、Rollは不動。
- 4、不動：映像に対して音の動きがない。
- 5、MS_R：Rollのみ映像と音の動きが不一致、Linearは不動。
- 6、MS_L：Linearのみ映像と音の動き不一致、Rollは不動。
- 7、不一致：Roll、Linear共に映像と音の動きが不一致。

また、各刺激の矛盾関係を表4.4.1.に示す。

《視-聴》は、視覚と聴覚との関係を意味し、この二つの感覚が矛盾しているかどうかを刺激ごとに表している。視覚と聴覚が一致している場合（矛盾の表記がない場合）、映像（視覚刺激）と音（聴覚刺激）の動きが一致している事を示している。

《聴-前》は、聴覚と前庭感覚との関係を意味し、この二つの関係が矛盾しているかどうかを刺激ごとに表している。聴覚と前庭感覚が一致している場合、音と視聴者の動きが一致している事を示している、つまり視聴者は動きがないので、音の動きもない状態を示していることとなる。

視覚と前庭感覚については、常に矛盾している。

表 4.4.1 各刺激の矛盾関係

	刺激名	Roll		Linear	
		視-聴	聴-前	視-聴	聴-前
1	一致		矛盾		矛盾
2	R		矛盾	矛盾	
3	L	矛盾			矛盾
4	不動	矛盾		矛盾	
5	MS_R	矛盾	矛盾	矛盾	
6	MS_L	矛盾		矛盾	矛盾
7	不一致	矛盾	矛盾	矛盾	矛盾

4.5 被験者

実験では、視覚障害、内耳障害のない健全な男女 10 名を被験者とした。

実験に際し、被験者には事前に実験内容を説明した。ただし、被験者の先入観による心理的な影響を避けるため、実験で与える刺激の情報等は被験者に知らせず、被験者間でも映像についての情報交換の無いように注意した。なお、動揺病の主症状 (Graybiel et al. [2] の診断基準における MIII 以上の症状) が見られた場合や被験者が中断を求めた場合には直ちに実験を中断することとした。

4.6 実験手順

被験者をスクリーンから約 4m 離れた位置に自由に座らせ、偏光眼鏡とヘッドフォンをかけて 3 次元映像が映し出されたスクリーンを注視させた。その後、実験室の照明を落とした。1 試行 45 秒で、7 種類の刺激をランダムに被験者に提示した。試行間には 25 秒の小休憩を設け、その間に 3 つの評価項目「自己運動感」「没入感」「不快感」について評価させた。評価方法は、それぞれの感覚について全く感じなければ 0、はっきりと強く感じれば 10 として 0~10 の 11 段階の順序尺度で、被験者に主観的な評価をさせた。小休憩の際には、評価用紙に記入してもらうため、実験室をある程度明るくした。7 つの試行を 1 セット、1 実験 4 セットとし、セット間には、180 秒の休憩を設けた。なお実験の繰り返しによる慣れ [3] の影響を防ぐため、1 セット毎に刺激の提示順を変更した。総試行数 280 回の実験を行った。

4.7 実験結果

不快感、没入感、自己運動感覚に対する、各刺激の結果と有意差検定の結果を図 4.7.1 に示す。

グラフの縦軸は、0~10 の 11 段階で評価させた評点を、1 回の実験ごとに並べ順位を取った。そして各実験ごとに得た順位を実験全体で順位付けをし、その順位が縦軸となっている。この値が大きいほど、「不快感」、「没入感」、「自己運動感覚」が大きいことを表している。また Petitz の多重検定を行い、“NS”の表記がある刺激間では、有意差は見られず、“*”の表記がある刺激間では、5%の有意差が見られたことを示している。

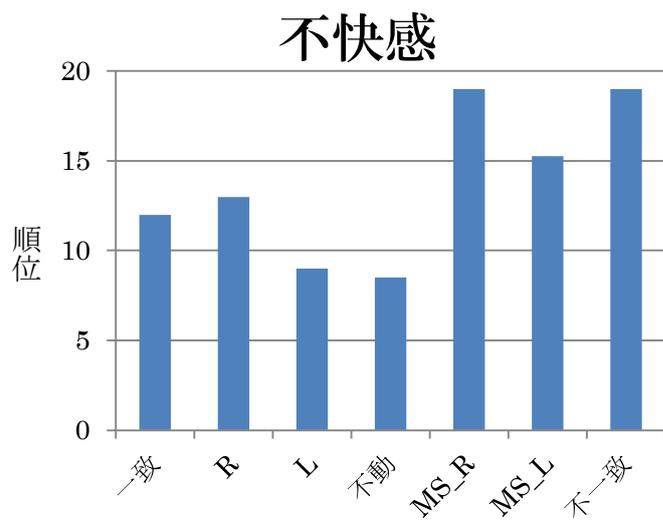
不快感に関しては、Roll 回転と Linear な動きに対する《視覚-聴覚》と《聴覚-前庭感覚》の矛盾する項目が多いほど、不快感は大きくなる結果が得られた。つまり、矛盾している項目が 2 つある、Roll、Linear 共に映像と音の動きが一致している場合（刺激 1：一致）、Roll のみ映像と音の動きが一致し、Linear は不動である場合（刺激 2：R）、Linear のみ映像と音の動きが一致し、Roll は不動である場合（刺激 3：L）、映像に対して音の動きがない場合（刺激 4：不動）の 4 刺激より、矛盾している項目が 3 つ以上ある、Roll のみ映像と音の動きが不一致し、Linear は不動である場合（刺激 5：MS_R）、Linear のみ映像と音の動きが不一致し、Roll は不動である場合（刺激 6：MS_L）及び Roll、Linear 共に映像と音の動きが不一致である場合（刺激 7：不一致）の 3 刺激の方が、比較的不快感は大きくなる結果となった。言い換えれば、映像と音の動きが一致していないものは、不快感が大きくなる結果となった。

また、矛盾が 2 つずつある刺激 1~刺激 4 間で比較してみると、Roll 回転の動きに対して《聴覚-前庭感覚》が矛盾するもの（Roll 回転の映像と音の動きが一致しているもの）を含む刺激（「1.一致」、「2.R」）は、「3.L」と「4.不動」より不快感が大きくなる結果が得られた。これは矛盾が 3 つ以上ある刺激 5~7 間で比較してみても、同様の結果が得られ、Roll 回転の動きに対して《聴覚-前庭感覚》が矛盾するものを含む刺激（「5.MS_R」、「7.不一致」）は、「6.MS_L」よりも不快感が大きくなる結果となった。

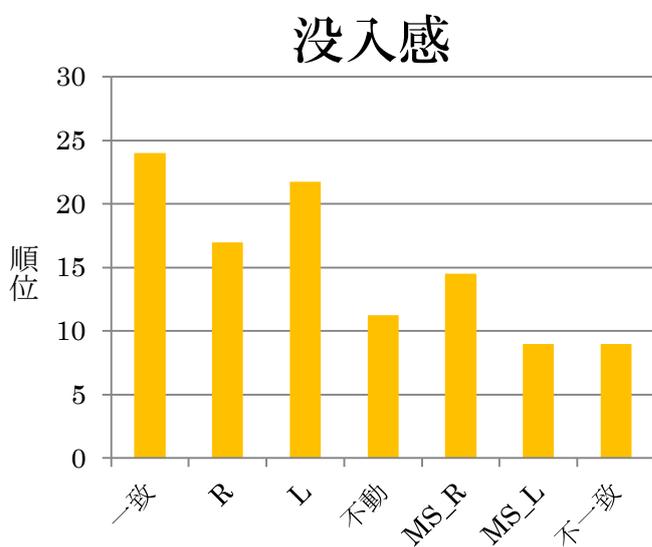
没入感に関しては、映像と音の動きが一致した刺激「1.一致」が、どの刺激よりも没入感が大きくなる結果となった。また、Linear のみ映像と音の動きが一致した刺激「3.L」も「1.一致」に次いで、没入感が大きくなる結果となった。しかし、映像に対して音の動きがない刺激「4.不動」や、映像に対して一致し

ていない刺激（「5. MS_R」、「6. MS_L」、「7. 不一致」）は、没入感は小さくなる結果となった。

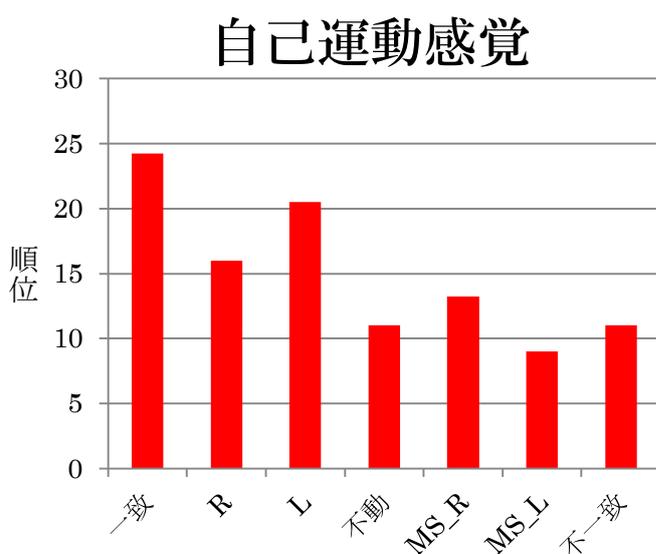
自己運動感覚に関しては、没入感と似た傾向の実験結果が得られた。映像と音の動きが一致した刺激「1. 一致」が、どの刺激よりも没入感が大きくなり、Linearのみ映像と音の動きが一致した刺激「3. L」も「1. 一致」に次いで、自己運動感覚が大きくなる結果となった。また、「4. 不動」、「5. MS_R」、「6. MS_L」及び「7. 不一致」には有意な差は見られず、映像と音が一致した刺激に比べ映像に対して音の動きがない刺激や一致していない刺激などは、自己運動感覚が生じにくい結果となった。



	1	2	3	4	5	6	7
1: 一致		NS	NS	NS	*	NS	*
2: R			NS	*	NS	NS	NS
3: L				NS	*	*	*
4: 不動					*	*	*
5: MS_R						NS	NS
6: MS_L							NS
7: 不一致							



	1	2	3	4	5	6	7
1: 一致		*	*	*	*	*	*
2: R			*	*	NS	*	*
3: L				*	*	*	*
4: 不動					NS	NS	*
5: MS_R						NS	*
6: MS_L							NS
7: 不一致							



	1	2	3	4	5	6	7
1: 一致		*	NS	*	*	*	*
2: R			NS	*	NS	*	*
3: L				*	*	*	*
4: 不動					NS	NS	NS
5: MS_R						NS	NS
6: MS_L							NS
7: 不一致							

図 4.7.1 不快感、没入感、及び自己運動感覚の各実験結果と有意差検定結果

5 考察

Roll 回転と Linear な動きに対して《視覚-聴覚》と《聴覚-前庭感覚》の両方を矛盾させる（映像と音の動きに関して不一致が存在する）と、不快感は高くなり、没入感及び自己運動感覚は低くなる傾向が見られた。これは《視覚-聴覚》、《聴覚-前庭感覚》及び《視覚-前庭感覚》の全てが不一致となり、感覚情報の矛盾が多く発生したため、不快感、没入感、自己運動感覚に影響を与えたと考えられる。

Roll 回転に対して《聴覚-前庭感覚》の矛盾を含む刺激は、《視覚-聴覚》の矛盾を含む刺激より、比較的不快感が高くなる結果となった。この理由は《視覚-前庭感覚》は常に矛盾しているため、《聴覚-前庭感覚》を矛盾させることで、映像と音が共に上下が入れ替わるような激しい動きをすることとなり、前庭感覚との感覚情報の矛盾がより強く生じることで、不快感が高まったと考えられる。

Linear な動きに対して《聴覚-前庭感覚》の矛盾を含む刺激は、《視覚-聴覚》の矛盾を含む刺激より、比較的没入感と自己運動感覚が高くなる結果となった。これは、Linear は前後の動きであるので、動いている映像に対して、音の強弱によって動いているという聴覚的な刺激をより強く与えられたため、没入感と自己運動感覚が高くなったと考えられる。但し、この時 Linear 動きに対して《視覚-聴覚》の矛盾も含んでいた場合、映像と音の動きが不一致となり、没入感及び自己運動感覚の上昇はあまり見られなかった。

以上のことから、映像と音の動きが一致した（あるいは部分的に一致している）場合、映像と音の動きが一致していない場合と比べて、不快感は抑制され、没入感、自己運動感覚は上昇することが示された。

また、映像と音の動きを一致させる時、映像と音を Roll 回転に関して一致させると不快感が増加する傾向を示し、映像と音を Linear な動きに関して一致させると没入感及び自己運動感覚に大きく影響することが示された。

今回の結果を応用すれば、3D 映像視聴時に激しい動き（Roll 回転）を伴う場面では、Roll 回転をする映像に対して音の動きをあえて無くし、Linear な動きのみ一致させることで、没入感と自己運動感覚の減少を抑えながら、不快感を軽減できると考えられる。

謝辞

本論文作成にあたり、有益なご指導、ご助言を賜りました、井須尚紀教授、河合敦夫准教授、本間秀典博士研究員に心からの感謝を申し上げます。また、本研究の実験にご協力いただきました被験者の皆様に深く感謝いたします。最後に、多大なるご協力をいただいた VR 班のみなさまはじめ、人工知能研究室の皆様に深く御礼申し上げます。

参考文献

[1] 崔正烈, 柳生寛幸, 千葉順子, 坂本修一, 岩谷幸雄, 鈴木陽一, 回聴覚刺激が視覚誘導性自己回聴覚に及ぼす影響, 日本バーチャルリアリティ学会 第16回大会論文集 pp526-529, 2011

[2] Graybiel A, Wood CD, Miller EF, and Cramer DB Lt; Diagnostic criteria for grading the severity of acute motion sickness. *Aerospace Med*, 39: 453-455, 1968

[3] Peter A. Howarth, Simon G. Hodder, Characteristics of habituation to motion in a virtual environment, *Displays* Volume29 Issue2 March2008 Pages117-123