



卒業研究報告書

平成29年度

研究題目

対象コンテンツの修正によるVR酔いの
抑制に関する研究

指導教員 内 田 眞 司 准教授

氏 名 森 大 海

平成30年2月15日 提出

奈良工業高等専門学校 情報工学科

対象コンテンツの修正によるVR酔いの

抑制に関する研究

内田研究室 森大海

近年、VR技術が発展する一方で、HMDの売り上げが伸び悩んでいる。その原因は「VR酔い」にあるとされている。

本研究ではこのVR酔いを抑制することを目的として、「視点から遠くの物体の輪郭をぼかす」という手法を提案し、ぼかし始める距離を5m, 10m, 20mの三つに分けて被験者実験を行った。またVR酔いの指標として生理指標である唾液アミラーゼ活性と主観的評価であるSSQアンケートを取り入れ、その結果を分析した。

その結果、20m以降の物体をぼかした場合と5m以降の物体をぼかした場合に、VR酔いの抑制が確認され、20m以降の物体をぼかした場合に関しては没入感も他二つの映像よりも高く保つことが出来た。さらに、ユークリッド距離を用いたクラスタ分析において、被験者を「酔いやすい人」・「酔いにくい人」の2群に分けた。そしてその「酔いやすい人」の群に対してDunnett法による分析を行った結果、 $p<0.01$ で有意な差が確認された。

また、10m以降の物体をぼかした際に、元映像よりもVR酔いが誘発されたことに対して考察し、中途半端にぼけた映像では逆にVR酔いを誘発してしまうという結論を得た。その対策として、ぼかし方や、抑制手法に合ったフィールドを適切に選択することが重要であることを示した。

目次

1	はじめに	2
2	VRについて	3
2.1	VRとは	3
2.2	VR酔いとその原因	3
3	VR酔い抑制の方針	5
3.1	VR酔いの抑制方法の提案	5
3.2	酔いの指標について	5
4	評価実験	7
4.1	実験用映像コンテンツ	7
4.2	実験条件	8
4.3	実験内容	8
5	実験結果	11
5.1	被験者の全体的特徴	11
5.2	被験者の個人差	12
6	考察	14
6.1	VR酔いとコンテンツへの没入感	14
6.2	映像D10のVR酔いの要因	14
7	おわりに	17
	謝辞	18

1 はじめに

VR(virtual reality)とは、実物ではないが機能として本質は同じである環境を、コンピュータグラフィックスなどの技術を用いて五感を含む感覚を刺激することによって作り出す技術のことである。現状、VRはヘッドマウントディスプレイ(HMD)と呼ばれるゴーグル型のディスプレイを頭部に装着して体験するのが一般的である。HMDとは頭の動きを検出し、それに合わせて映像を動かすことで仮想空間にいたような感覚を使用者に与えることができるデバイスである。このHMDを用いたVR環境により、どこにいても臨場感のある映像を視聴出来たり、よりリアルなシミュレーションが可能となる。近年、VRを体験するために必要なHMDが一般層にも求めやすい価格で発売されたことにより、これまでにない形のサービスやコンテンツが制作されることが期待されている。すでに不動産・建築業界では物件の内見時にリフォーム後の様子をVRで体験するといったサービスが導入されている。また、VRを用いた広告動画の視聴完了率が通常の広告の視聴完了率を大きく上回るなど、世間でもVRへの興味が集まりつつある。さらに医療の分野ではVRによる高所恐怖症や幻肢痛の治療が期待されている[1][8]。

しかし、VRコンテンツを体験していると、しばしば頭痛・吐き気など、車酔いのような症状に見舞われることがある。この症状はVR酔い¹と呼ばれている。VR酔いは人によっては嘔吐を伴うほど重症化することがあり、ともすれば利用者が以後のVRコンテンツ利用を拒絶する場合もある。このため、VR酔いが将来のVR技術発展の妨げとなり得る可能性が示唆されている[2]。VR酔いの原因は未だ完全には解明されておらず、一般には視覚情報と三半規管からの情報の不一致によりVR酔いが発症する「感覚不一致」が最も有力であると考えられている[4]。VR酔いへの対策として、先行研究では佐野ら[7]のユーザへの音声の提示による抑制や谷中ら[9]の鼻部皮膚温度によるVR酔いの検出などが行われてきたが、実用的なVR酔いの解決には至っていない。

そこで、本研究の目的はVR技術の発展に貢献するため、ユーザへの音声の提示などの外的要因による抑制ではなく、VRコンテンツ自体に修正を加えることでVR酔いを抑制することである。従来、VR酔いの原因の究明や、個人差に対応するためのシステム構築[5]などが為されてきたが、実用的な抑制手法は未だ発見されていない。また、コンテンツを修正することにより、コンテンツ本来の臨場感などが損なわれる可能性があるが、VR酔いの抑制と臨場感の維持の二つの視点から最適な抑制手法を検討する。

以下、2章では先行研究について説明し、3章では本研究の方針について説明し、4章で評価実験の内容を説明する。5章では実験結果を示す。

¹“VE酔い”, “サイバー酔い”とも呼ばれる

2 VRについて

2.1 VRとは

VRとは、virtual realityの略であり、現実・実物ではないが機能としての本質は同じであるような環境を人工的に作り出す技術、またはその環境を指す。日本語では「人工現実感」、「仮想現実」と訳される。VRは使用者の感覚を外界から遮断し、人工的に作られた感覚を使用者に提示することで、仮想的な現実感を使用者に与える。仮想現実という概念はファンタジー・SFなどの題材にもよく用いられ、別世界を体験する技術として知られている。

しかし、架空の世界と違い、現実では使用者の感覚を遮断するとなると大規模な設備が必要となり、現実的ではなかった。そこで考え出されたのがHMDである。HMDは人間が周囲の環境から得られる情報の大部分を占める視覚を遮断し、代わりにコンピュータグラフィックスで作られた映像を提示することでVRを実現した。そして、2016年には「PlayStation VR」[10]や「Oculus Rift」[11],「HTC Vive」[12]などの高性能で比較的安価なVR用ヘッドマウントディスプレイが発売された。これによりVRブームが到来するであろうと期待され、2016年はVR元年と呼ばれた。また、視覚だけでなく、触覚を再現するためのVR専用グローブなども開発され、VR業界への期待が集まっている。

2.2 VR酔いとその原因

しかしそれから2年がたった今、HMDの売り上げは伸び悩んでいる。その原因の一つに「VR酔い」が挙げられている[2]。今、VRブームを維持するためにもVR酔いを抑制しなければならない。VR酔いとは、VR映像を視聴した際に、頭痛、眩暈、吐き気等の症状を発症するものである。VR酔いはドライビングシミュレータなどで発生する”映像酔い”の一種であると考えられており、以下の場合にVR酔い・映像酔いが発生しやすいとされている[14]。

- ユーザーの視野角に対して、広い範囲に映像が展開されている
- ユーザーの経験に乏しい分野や内容の映像が展開されている
- 前庭系や身体運動系などの視覚以外(非視覚系)からの入力と視覚系からの入力が一致しない

しかし、VR酔いの程度・症状には個人差があり、同一人物であってもその日の体調やその他健康状態によって酔うこともあれば酔わないこともある。そのため、原因の究明や、抑制手法の考案が難しく、未だにVRにはVR酔いという欠点が付きまとっている。特に現状のVRにはHMDが用いられるので、必然的にユーザーの視野角に対して広い範囲に映像が出力される。この解決法として田中ら[5]は

ニューラルネットワークを用いて個人のVR酔い特性を分析し、それに合わせて映像の出力画角を狭めることでVR酔いの抑制に成功している。しかし、画角を狭めたことによりVRコンテンツの持つ臨場感が損なわれ、VR酔いと臨場感の間にはトレードオフの関係があるとしている。以上より、本研究では、VR酔いの原因は以下のような三つの要因であると仮定する。

- 非視覚系と視覚系からの情報の不一致(感覚不一致説)[4]
- VR空間の理解不能 [6]
- 映像の情報過多 [3]

感覚不一致説については1章でも触れた通り、最も有力であるとされている要因である。「VR空間の理解不能」とはユーザーが経験したことのない空間を表現したコンテンツや、構造が複雑で形状を理解できないコンテンツをVRで体験した場合に、脳がそのVR空間を理解できないことで混乱し、脳による”空間からの脱出命令”としてVR酔いが発症するというものである[6]。「映像の情報過多」とは視野角に対する映像描画範囲の広さに主に関係する。田中らの研究において画角が広い状態（情報が多い状態）ではVR酔いが発症しやすく、画角が狭い状態（情報が少ない状態）ではVR酔いが発症しにくいことから、ベクション²を感じるには一定以上の情報量が必要であると考えた。つまり「映像の情報過多」という要因は映像から得られる情報を少なくすることで抑制できる[3]。本研究では後者二つの要因に着目しVR酔いの抑制を図る。

²自分が静止しているにも関わらず、自分が移動した際と同等な視覚情報（移動表現）を得ると自分が動いているような錯覚に陥る現象。

3 VR酔い抑制の方針

3.1 VR酔いの抑制方法の提案

前述の三つの要因のうち，後者二つの要因に対し，本研究で提案する抑制手法は「遠くの物体の輪郭をぼかす」という手法である．この手法はユーザーの視点から一定以上の距離がある物体（例えば遠くの建物など）の輪郭を画素の平滑化処理により，ぼかすという手法である．本実験で使用した映像加工アルゴリズムは，ぼかし始める距離の画素とぼかさない距離の画素の境目を自然に見せるため，「ぼかし始める距離から，ある一定のぼかしの程度になるまで，徐々にぼかしの程度を，距離が離れるにつれて上げていく」という手法を用いた．これにより，理解すべき空間（自分の周囲）のみがはっきりと見えるため，ユーザーの経験に乏しい空間であってもスムーズに空間の理解ができ，「VR空間の理解不能」が解消できる．また，遠くの物体の情報量が減少するため，ベクシオンが発生しにくくなり，「映像の情報過多」も解消出来ると考えた．この手法は画角を狭める場合と違い，情報量は少なくなっているが，対象範囲の情報が全て消失するわけではないので，ある程度の臨場感が保たれると思われる．

3.2 酔いの指標について

被験者の酔いの度合を評価するため，主観的評価として被験者へのアンケート，客観的評価として唾液アミラーゼ活性という生理指標を用いる．主観的評価であるアンケートにはSSQアンケートという不快感を数値化することができるアンケートを用いる．SSQアンケートとは全16問の設問にそれぞれ4段階の選択枝があり，それらの段階により，0～3の重みをつけ，以下の式(3.2.1)～(3.2.4)に当てはめると，回答者の”気持ち悪さ”，”眼の疲れ”，”ふらつき”およびこれら三つの要素から導き出される”総合的な不快感”を数値化できるものである[17]．

$$N = (Q_1 + Q_5 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{15} + Q_{16}) \times 9.54 \quad (3.2.1)$$

$$O = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_9 + Q_{11}) \times 7.58 \quad (3.2.2)$$

$$D = (Q_5 + Q_8 + Q_{10} + Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14}) \times 13.92 \quad (3.2.3)$$

$$TS = \left(\frac{N}{9.54} + \frac{O}{7.58} + \frac{D}{13.92} \right) \times 3.74 \quad (3.2.4)$$

N :気持ち悪さ, O :目の疲れ, D :ふらつき, TS :総合的な不快感, Q_x :設問

本実験では”総合的な不快感” TS をSSQアンケートによる主観的指標として扱う．

唾液アミラーゼ活性とは唾液に含まれる消化酵素であるアミラーゼを用いてストレスを定量化する手法である．唾液には α -アミラーゼと呼ばれる物質が存在しており，これは交感神経系作用(ストレス)により，活性化するという性質があることが分かっている[16]．この性質を利用して被験者のストレスを定量化する．

測定の際には、唾液採取紙のついた専用の使い捨て式のチップと、そのチップを検査することで唾液アミラーゼ活性値を算出する専用の計測器を用いる。以下に測定の際の手順を示す。

- 1: 被験者にチップを舌下に入れたまま約30秒待機してもらう。
- 2: 30秒経過後、チップを計測器にセットする。
- 3: 画面の指示に従い、30秒ほど待つと、0kU/L～200kU/Lまでの範囲で唾液アミラーゼ活性値が計測器の画面に表示される。

試験紙には α -2-クロロ-4-ニトロフェニル-ガラクトピラノシルマルトサイド (Gal-G2-CNP) と呼ばれる物質が含まれており、これに唾液を含ませることで唾液内の α -アミラーゼがGal-G2-CNPと加水分解反応を起こし、2-クロロ-4-ニトロフェノール (CNP) が生成される。この反応により、試験紙が白色から黄色に変わり、計測器はこれに光を当て、その反射光の強度により α -アミラーゼの活性度合を数値化する。なお、被験者3名に対して行った予備実験において、VR酔いと唾液アミラーゼ活性の間には相関があることを確認した。

4 評価実験

この章では抑制手法の評価実験の詳細を説明する。

4.1 実験用映像コンテンツ

本研究で行う実験では、被験者にVR酔いを誘発する映像を提示する必要がある。その内容は藤木ら[3]の研究で使用された映像を倣い、都会の街並を歩行する映像とした。ただし、歩行方法は被験者による操作ではなく、あらかじめ決められたルートを歩行するものとした。また、感覚不一致による酔いの誘発を目的として、予期できない加速・減速・停止・転回などの要素を取り入れた。

映像の作成にはゲームエンジン「Unity」を使用し、都会の街並みモデルには、ZENRIN CO., LTDの『ZENRIN City Asset SeriesTM」[15]を素材として使用した。また、抑制手法の実現には、Unityの標準スクリプトである”DepthOfField”を用いた。これは、「被写界深度」³を再現するフィルタで、今回の実験ではこのフィルタのパラメータである、「焦点距離」、「焦点範囲」、「絞り」の3つを調整することで映像を加工した。

本実験ではぼかし始める距離によって抑制効果に差が出るかを調べるため、元の映像を加工し、新たに3種類の映像を作成した。加工内容は、ユーザーの視点からぼかし始める距離を3種類(5m～・10m～・20m～)に分けて、それぞれを元の映像に適用し、3種類の映像とした。表1のように元となる映像をAと符号化し、映像の5m以上遠くの物体をぼかした映像をD5、10m以上遠くの物体をぼかした映像をD10、20m以上遠くの物体をぼかした映像をD20と符号化する。また、各加工映像において、焦点距離、焦点範囲、絞りの各パラメータの値を示す。

表 1: 映像名称対応表

加工内容	焦点距離	焦点範囲	絞り	名称
加工なし(元映像)	-	-	-	A
5m以上遠くの物体の輪郭をぼかす	7.8	0.893	0.651	D5
10m以上遠くの物体の輪郭をぼかす	8	1.07	0.633	D10
20m以上遠くの物体の輪郭をぼかす	8.7	2	0.69	D20

³焦点距離とその周囲のみをはっきりと見せ、それ以外の画素をぼかす処理

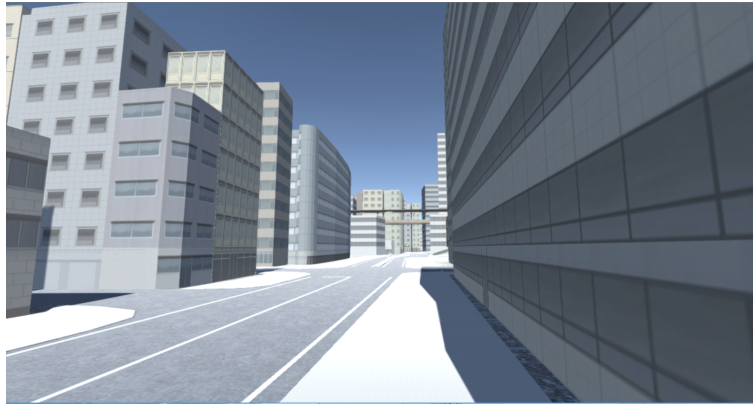


図 1: 実験用映像(映像A)

4.2 実験条件

本研究ではVR酔い抑制手法の評価実験を行った．以下に実験条件を述べる．

被験者はHMD (Oculus Rift Development Kit 2) とヘッドホン (SONY製ステレオヘッドホンMDR-XD200) を装着し，まっすぐ前を向いた状態で回転しない椅子に座る．実験中，HMDには実験用の映像コンテンツを流し，ヘッドホンからはピンクノイズを流す．本実験では4.1節で述べたように合計4種類の映像を被験者に提示する．図1にその映像を示す．また，実験の開始時と終了時にはアンケートを実施し，被験者の主観的な酔いややすさや，その日視聴した映像のどちらのほうが快適であったかなどを調べる．唾液アミラーゼ活性値の測定には測定器 (ニプロ株式会社製唾液アミラーゼモニター) と専用使い捨てチップ (ニプロ株式会社製唾液アミラーゼモニターチップ) を使用した．

4.3 実験内容

被験者は事前にVR酔いについてインフォームド・コンセントを得た奈良高専情報工学科5年生の男性12名 (年齢 20 ± 1) である．実験は二日に分けて行い，映像は一日に2種類視聴してもらった．映像視聴を一日に2回行うことで，二回目の結果に一回目の映像視聴の結果が影響する可能性や，VR酔いを発症し，そこから平常状態に戻るまでの期間が被験者によって差があることを考慮し，表2の組み合わせで映像を提示した．表2は12人の被験者それぞれに，どのような順番で映像を視聴してもらうかを示した表である．表の通り，同じ順序となった被験者は居ない．また，一日の実験の流れをフローチャートで表した図を図2に示す．

表 2: 実験順序

	1 日 目		2 日 目	
No.	1 回 目	2 回 目	1 回 目	2 回 目
1	A	D5	D10	D20
2	D5	A	D20	D10
3	A	D10	D5	D20
4	D10	A	D20	D5
5	A	D20	D5	D10
6	D20	A	D10	D5
7	D10	D20	A	D5
8	D20	D10	D5	A
9	D5	D20	A	D10
10	D20	D5	D10	A
11	D5	D10	A	D20
12	D10	D5	D20	A

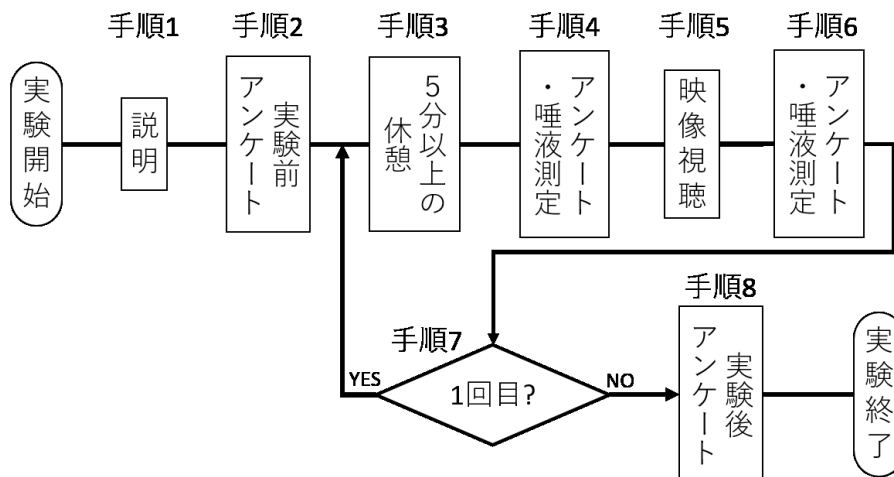


図 2: 1 日の実験の流れ

- 1: 被験者への口頭と書面の双方により, 実験の趣旨, 手順, 危険性の説明の後, 書面により本人から直接同意を得る. なお, 2日目の場合は説明のみを行う
- 2: 実験前アンケートを記入してもらう.
- 3: 5分以上の休憩をとってもらう.
- 4: SSQ アンケートへの回答と, 唾液アミラーゼ活性値の測定を行ってもらう.
- 5: 表1の各順序で映像を被験者に提示する. 先入観によるVR酔いへの影響を考慮して, どの種類の映像を見せているかは被験者には伝えない. また, 被

験者の能動的な視界の移動を促すため，映像の中には色のついた箱が設置されており，被験者にはその箱を探すように指示する．

6：視聴前と同様に，SSQアンケートへの回答と，唾液アミラーゼ活性の測定を行ってもらう．

7：その日の映像視聴の一回目の場合は手順3からもう一度繰り返す．

8：実験後アンケートを記入してもらう．

以上を一日の実験手順とし，二日に分けて実験を行う．なお，二日目の書面による同意と実験前アンケートは省略した．

5 実験結果

5.1 被験者の全体的特徴

この節では被験者12名の全体的な傾向を述べる．図3, 図4に視聴前, 視聴後それぞれにおける唾液アミラーゼ活性・SSQアンケートの評価値を平均したグラフを示す．グラフは横軸が各映像の種類, 縦軸がそれぞれの指標の評価値を表している．また, 映像ごとのグラフの, 左側が視聴前の平均値, 右側が視聴後の平均値を表しており, 棒グラフから伸びる線は各評価値の, 最大値から最小値の範囲を示している．

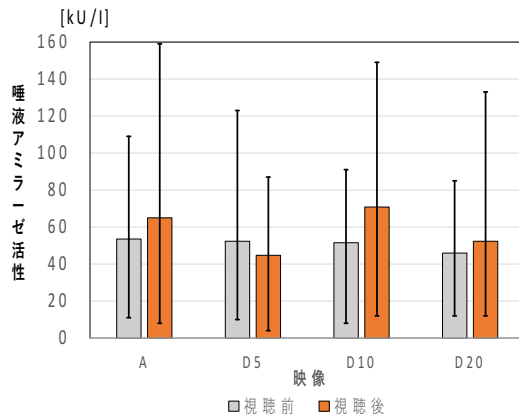


図3: 唾液アミラーゼ活性平均

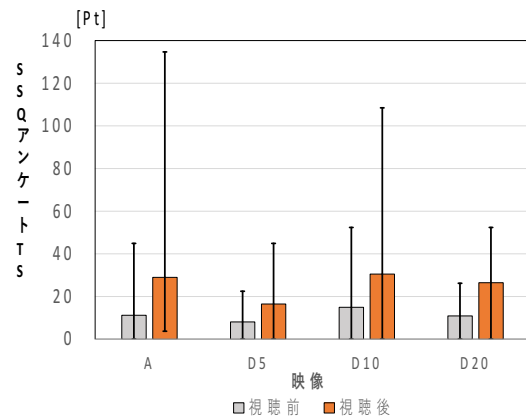


図4: SSQアンケート平均

グラフから分かるように, 映像D10を視聴した場合に, 視聴後の唾液アミラーゼ活性値が最も大きくなり, 生理的にVR酔いの症状が重度化する傾向を示した(図3). 一方, SSQアンケートによる評価値TSも同様に視聴後が高くなり, 主観的に知覚できるほどVR酔いが重度化する傾向を示した(図4).

また, 映像D5を視聴した場合には唾液アミラーゼ活性値が視聴前より視聴後の値の方が低くなり, 映像D5によってはVR酔いを誘発しないという傾向を示した(図3). 一方, SSQアンケートによる評価でも他の映像視聴時と比べてTSの変化量が少なく, VR酔いはそれほど重症化しない傾向を示した(図4).

しかし, 実験後アンケートによる没入感の評価では, 映像D5が他の映像と比べて没入感が損なわれているという結果となった．表3にその根拠となる, 実験後アンケートによる没入感調査の, 映像D5に対する結果を示す.

表 3: 実験後アンケートによる映像D5の没入感調査

	項目	A	D10	D20
D5	移動感	-1	1	-2
	立体感	0	-1	-2
	空間理解	1	-1	-3
	動き理解	0	-4	-1
	臨場感	-1	-1	0
	リアル	-2	0	0
	快適	-2	2	-1
	不快	2	-2	2
	酔いやすさ	1	0	2

実験後アンケートには{移動感, 立体感, 空間理解, 動き理解, 臨場感, リアル, 快適, 不快, 酔いやすさ}の9つの項目に対して, 被験者がその日視聴した2つの映像の中でどちらの方がより項目の内容が大きかったかを回答する設問がある. 表3はその設問の回答の中で, 映像D5を含む映像を視聴した回のアンケート結果をまとめたものである. 表の数字は映像D5が各映像に対して項目の内容において優れていると回答された回数である. 値が負数の場合は映像D5がその映像に対して項目の内容で劣っていると回答された回数を示す. 9つの項目の中で, 没入感と直接関係があるのは”快適”, ”不快”, ”酔いやすさ”の3項目を除いた6項目である. それを踏まえて表3を見ると, 映像D5よりも他の映像の方が没入感が高いとする被験者が6割以上を占めることがわかる.

以上の結果より, 被験者の全体的な評価としては映像D5が最もVR酔いを抑制出来ているが, 没入感の面では他の映像に劣り, 映像D10は映像Aと比べて, VR酔いを抑制出来ていないという結果となった.

5.2 被験者の個人差

唾液アミラーゼ活性値, SSQアンケートTSの両方の標準偏差は平均値が大きくなるほど, 同様に高くなる傾向を示した. 特に映像A, D10においてはその傾向が強く見られた. これは, 酔いやすい映像を視聴した場合にはVR酔いの症状の程度にばらつきがあることを示している. そこで, 被験者のすべての映像におけるVR酔い特性を分析し, 分類するため, 唾液アミラーゼ活性値とSSQアンケートTSの平均値をパラメータとしてクラスタ分析を行った. 類似度にはVR酔い特性が近い被験者同士を一つのグループとするため, ユークリッド距離を用いて本実験の被験者の個人差を分析した.

クラスター分析の結果, 被験者12名は唾液アミラーゼ活性値・SSQアンケートTS両方が低い「酔いにくい人」(X群)8名と, 両方が高い「酔いやすい人」(Y群)4

名の2群に分けることが出来た．このX群，Y群に対してそれぞれDunnett法による多重比較検定を行った．その結果，Y群の映像D5を対象群として行った分析で，映像D5以外の映像全てと有意な差が確認された($p<0.01$)．さらに映像D5を基準として，次のような順序関係がDunnett法により確認された．

$$\text{酔いやすい} \leftarrow D10 > A > D20 >>> D5 \rightarrow \text{酔いにくい} \quad (5.2.1)$$

これは被験者の全体的な特徴とも一致しており，映像D5が最も酔いにくいということを裏付ける結果となった．

一方X群については，各映像の視聴前の唾液アミラーゼ活性値・SSQアンケートTSよりも視聴後の唾液アミラーゼ活性値・SSQアンケートTSのほうが低い被験者が多く，どの映像についても有意な差は確認されなかった．X群の全体的な傾向としては，SSQアンケートTSは一様に低く，唾液アミラーゼ活性値も同様に低い傾向にある．しかし，映像D10においてSSQアンケートによる主観評価では酔いを報告していないにもかかわらず，唾液アミラーゼ活性値では高いとは言えないまでも，基準を超える値を計測したケースが二つほどあった．これについては考察項目として述べることとする．

6 考察

この章では実験結果を元に、本研究についての考察を述べる。

6.1 VR酔いとコンテンツへの没入感

Y群の唾液アミラーゼ活性値とSSQアンケートTSによる評価において、映像D5が最も酔いにくいという結果が示されたが、没入感の観点からは映像D5が最も没入感を損ねているという結果も出ている。本研究の目的はVR酔いを抑制することであったが、それにより没入感が損なわれてしまうのであれば実用的な抑制手法とは言いがたい。そこで、VR酔いを抑制しつつも、没入感を保つ手法を模索した。

まず、今回Y群に対して行ったDunnett検定により、 $D10 > A > D20 > D5$ の順でVR酔いが誘発されやすいことが分かった。ここで、映像D5の次に酔いにくいとされた映像D20に着目する。表4に実験後アンケートによる没入感調査の、映像D5に対する結果を示す。

表4: 実験後アンケートによる映像D20の没入感調査

	項目	A	D5	D10
D20	移動感	1	2	2
	立体感	-1	2	1
	空間理解	-1	3	2
	動き理解	1	1	1
	臨場感	-1	0	2
	リアル	-1	0	1
	快適	0	1	0
	不快	-2	-2	0
	酔いやすさ	-1	-2	2

表4を見ると、映像D20が映像D5とD10に対して、没入感の面で優れていることが分かる。これは映像D20が元の映像Aの次に高い没入感を与えられる映像であることを意味する。

これより、本研究の映像の中で、VR酔いの抑制と没入感の維持のトレードオフのバランスが最も優れているのは、20m以降の物体の輪郭をぼかした映像である映像D20であると結論付ける。

6.2 映像D10のVR酔いの要因

本研究では「VR空間の理解不能」と「映像の情報過多」という二つのVR酔いの誘発要因に合わせて「遠くの物体の輪郭をぼかす」という抑制手法で実験を行っ

た．この抑制手法は映像の情報量を削減するという性質上、映像Aが最も酔いやすく、次いでD20、D10とぼかす距離が近くなるほどVR酔いが軽減されることが予想されていた．しかし、実験結果ではD10が最も酔いやすいという結果となった．これは10m以上遠くの物体をぼかした際に、他の映像には無い何か別の要因によりVR酔いが誘発されているということである．この節ではその要因が何であるかを考察する．

実験後アンケートには感想を自由に書くという設問があり、その回答の中に「1回目は遠くの景色が少しブレていて、ピントを合わせようと目が少し疲れた．（黒板の見えにくい字を見ようとするイメージ）（2回目はもともとボヤけていたのでピントを合わせる必要がなく快適だった）」という回答があった．この被験者は1回目に映像D10を、2回目に映像D5を見た被験者であるが、映像D10が最も酔うとされた原因がこの被験者の回答の中にある可能性がある．

まず前提として、本実験で使用した映像加工アルゴリズムは、ぼかし始める距離の画素とぼかさない距離の画素の境目を自然に見せるため、「ぼかし始める距離から、ある一定のぼかしの程度になるまで、徐々にぼかしの程度を、距離が離れるにつれて上げていく」という手法を用いている．この手法の特徴として、「ぼかし始める距離付近はぼかし度合いが低い」という性質がある．これはぼかしを自然に見せるための処置であったが、今回映像D10が最も酔いやすいとされた原因はこの手法の特徴にあると思われる．

実験で使用した映像は都会の街並みを歩行する映像であり、その性質上、図1のような両側をビルに囲まれた風景が多い．今回実験にあたって元映像を加工して用意した映像の中で、最もぼかされる範囲が狭いのが映像D20であるが、これは図1で提示した映像Aのような視点の場合、両側のビルの輪郭がはっきりと見え、奥に見えるビル群のみが少しぼやけて見える程度の範囲である．この時、ぼかされる範囲は映像の10%程度であり、加工されていることに気づくことも難しいほどである．ところが、映像D10の場合は左側手前のビルのあたりから徐々に輪郭がぼやけていき、奥のビルは辛うじて形が確認できるほどまでぼやける範囲である．この時、ぼかされる範囲は映像の40%ほどであるが、左側のビルやその周辺は先述したように、完全にぼやけているわけではなく、輪郭が多少ぼけているだけである．したがって、映像D10の手前のビルのような中途半端にぼけた範囲に対し、被験者が無理に目のピントを合わせようとすることでストレスや目の疲れが誘発され、SSQアンケートや唾液アミラーゼ活性の結果に影響を及ぼしたのではないかと考えられる．この解決策としては以下の2つの方法が挙げられる．

- 一定のぼかしの程度になるまでのぼかしの増分を増やす．
- 建造物までの距離が比較的遠いフィールドで使用する．

ぼかしの増分とは，比例関数で言うところの比例定数のことである．グラフの横軸を距離，縦軸をぼかしの度合として，映像D10のぼかし度合いのグラフのイメージを描くと以下のようなになる．

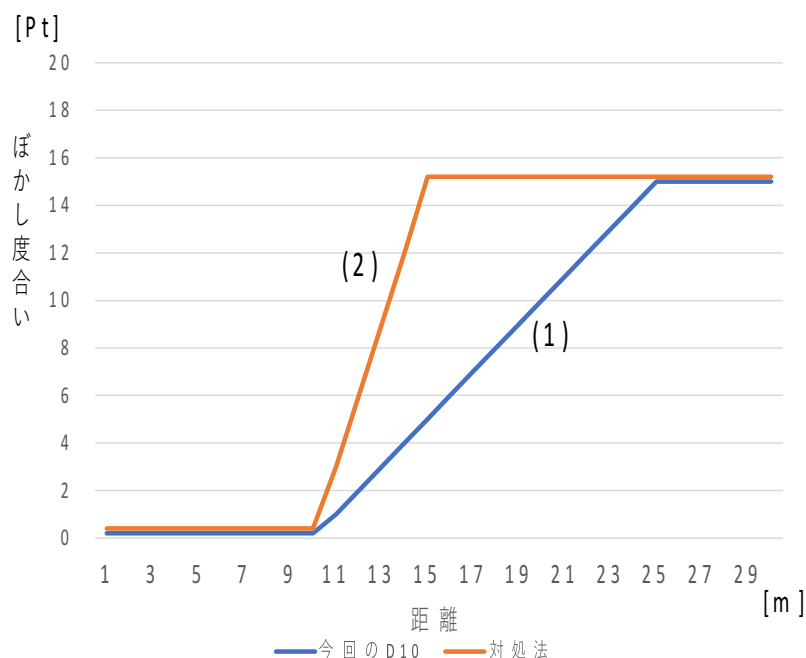


図 5: ぼかし方(イメージ)

このグラフの(1)が今回の映像D10のぼかし方だとすれば，「ぼかしの増分を増やす」とは，(2)のようなグラフにすることである．これにより，ぼかしの境目を自然に見せつつ，中途半端にぼかされる範囲が狭くなるので，映像D10のような場合のVR酔いの要因は抑制できると考えられる．また，中途半端にぼけた範囲が広く現れる現象は，今回のビル街のような，建造物までの距離が比較的近いフィールドだからこそ起こるものである．これに対し，手法を使用するフィールドをスタジアムのような開けた空間に変更することでこの要因によるVR酔いは解消されると予想される．

以上より，ぼかし始める距離，ぼかし方，フィールドの適切な選択が「遠くの物体の輪郭をぼかす」抑制手法の今後の課題であることが確認できた

7 おわりに

本研究ではVR映像において、使用者の視点から遠くにある物体の情報量を削減することでVR酔いが抑制されることを明らかにした。しかし、情報量を減らしすぎると、VR酔いはさらに抑制されるが、没入感が著しく低下し、VRコンテンツそのものの価値を損ねる可能性があることも確認した。さらに、本研究で抑制手法を適用した三種類の映像のうち、映像D20は、元映像AよりもVR酔いが抑制されており、没入感の面でも他の加工映像よりも優れている。以上より、本研究の目的は達成できた。

また、考察においてVR酔いの原因として中途半端にぼけた映像により酔いを誘発する可能性を示した。これを受け、本研究で提案した手法の今後の課題として、ぼかし始める距離、ぼかし方、フィールドの適切な選択の三つがあることを確認した。この課題を解決し、今回の映像D10のように、加工したことが原因で、元の映像よりも不快感を与えるようなことがないようにすることをこの抑制手法の目標とする。

本研究の今後の取り組みとしては、VR酔いの抑制と没入感向上のバランスが最も最適である点を探ること。使用者個人に合わせたぼかし方を算出すること等が挙げられる。そのために、使用者のデータから個人差を分析し、最適な抑制手法を導き出すシステムを構築することが今後の研究の目標である。

謝 辞

本研究は奈良高専情報工学科，内田研究室からの支援を受けて行ったものです。指導教員である内田眞司准教授には，研究全般に渡り，お忙しい中多大なるご指導・ご鞭撻を頂きました。筆者の準備不足から実験が長期化したにも関わらず，最後まで真摯にご指導くださり，心から深く感謝の意を表します。また，本研究遂行にあたり，他研究室であるにも関わらず，唾液アミラーゼ活性モニターなどの実験装置を貸し出してくださった松村寿枝准教授に，ここに改めて謝意を表すとともに，中間発表で貴重な意見をくださった上野秀剛准教授，ならびに，報告書の査読を担当してくださった岡村真吾准教授に，感謝いたします。さらに，本研究の実験をするにあたり，お忙しい中ご協力いただいた被験者の皆様に，心より感謝いたします。

参考文献

- [1] XERA : VR で未来はどう変わる? VR が活用されている 15 の分野と最新事例, (オンライン), 入手先 (<https://xera.jp/entry/vrcase>)(参照 2017-11-21)
- [2] Forbes : 『VR バブル』の失速を断言できる 8 つの理由, (オンライン), 入手先 (<https://forbesjapan.com/articles/detail/13942>)(参照 2017-11-28)
- [3] 藤木卓, 市村幸子, 寺嶋浩介, 小清水貴子: ”VR コンテンツの精度が現実感と酔いに与える影響,” 日本教育工学会論文誌 36 (Suppl), pp.73- 76, (2012)
- [4] 中川千鶴, 大須賀美恵子: ”VE 酔い研究および関連分野における研究の現状,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.3 No.2, (1998)
- [5] 田中信壽, 高木英行: ”臨場感と VR 酔いを考慮した人工現実感環境設計システム,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.11 No.2 pp.301- 312,(2006)
- [6] 中川千鶴: ”生理反応を用いた動揺病の評価に関する研究,” 慶應義塾大学理工学研究科, 博士論文 (2008)
- [7] 佐野浩也, 森下和, 原田圭裕, 大倉典子: ”VR 酔いを抑制する要因の検討,” 人間工学 第 51 巻 特別号 (2015)
- [8] moguraVR: 【VR ビジネス導入事例】VR を活用した消費者・個人向け新サービス, (オンライン), 入手先 (<http://www.moguravr.com/business-vr-new-service/>)(参照 2017-11-21)
- [9] 谷中俊介, 小坂崇之: ”自律神経系指標を用いた映像視聴中の酔い検出手法の検討,” エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2016 論文集 pp.285-288 (2016)
- [10] SONY : PlayStationVR, (オンライン), 入手先 (<http://www.jp.playstation.com/psvr/>)(参照 2017-11-21)
- [11] Oculus : Oculus rift, (オンライン), 入手先 (<https://www.oculus.com/>)(参照 2017-11-21)
- [12] VIVE : HTC Vive, (オンライン), 入手先 (<https://www.vive.com/jp/>)(参照 2017-11-21)
- [13] VRgluv : VRgluv, (オンライン), 入手先 (<https://vrgluv.com/>)(参照 2017-12-25)
- [14] 近江政雄, 氏家弘裕 「映像情報による自己定位と映像酔い」, BME Vol.18 No.1 (2004)
- [15] ZENRIN, (オンライン), 入手先 (<http://www.zenrin.co.jp/product/service/3d/asset/>)(参照 2017-10-10)

- [16] 山口昌樹, 花輪尚子, 吉田博:”唾液アミラーゼ式交感神経モニタの基礎的性能” 生体医工学 45(2):pp.161-168,(2007)
- [17] Kennedy, Lane, Berbaum, Lilienthal:”SIMULATOR SICKNESS QUESTIONNAIRE, ” International Journal of Aviation Psychology, 3(3), pp.203-220. (1993)

付 録

No _____

Date _____

1 日目・2 日目/1 前・1 後・2 前・2 後

実験アンケート

あてはまらない・・・・・あてはまる

1.全体的に気分がよくない	なし ・ わずかに ・ 中程度 ・ 激しく
2.疲れている	なし ・ わずかに ・ 中程度 ・ 激しく
3.頭痛がする	なし ・ わずかに ・ 中程度 ・ 激しく
4.眼が疲れている	なし ・ わずかに ・ 中程度 ・ 激しく
5.眼の焦点が合わない	なし ・ わずかに ・ 中程度 ・ 激しく
6.唾液がでる	なし ・ わずかに ・ 中程度 ・ 激しく
7.汗が出る	なし ・ わずかに ・ 中程度 ・ 激しく
8.吐き気がする	なし ・ わずかに ・ 中程度 ・ 激しく
9.集中できない	なし ・ わずかに ・ 中程度 ・ 激しく
10.頭が重い	なし ・ わずかに ・ 中程度 ・ 激しく
11.眼がかすむ	なし ・ わずかに ・ 中程度 ・ 激しく
12.(眼を開けた状態で)めまいがする	なし ・ わずかに ・ 中程度 ・ 激しく
13.(眼を閉じた状態で)めまいがする	なし ・ わずかに ・ 中程度 ・ 激しく
14.周囲が回転するようなめまいがする	なし ・ わずかに ・ 中程度 ・ 激しく
15.胃の存在感がある	なし ・ わずかに ・ 中程度 ・ 激しく
16.げっぷがでる	なし ・ わずかに ・ 中程度 ・ 激しく

図 6: SSQ アンケート

No _____

Date _____

1日目・2日目

実験前アンケート

1.車やバイク・自転車に乗りますか。

ほぼ毎日・よく・たまに・乗らない

2.車やバス、その他乗り物で酔ったことはありますか

ある・ない

2-1. (2で「ある」と答えた場合) どれぐらいの頻度で酔いますか。

ほぼ毎回・よく・たまに

2-2. (2で「ある」と答えた場合) どのような症状が出ますか。

3.自動車シミュレーターやその他映像で酔ったことはありますか。

ある・ない

3-1. (3で「ある」と答えた場合) どれぐらいの頻度で酔いますか。

ほぼ毎回・よく・たまに

3-2. (3で「ある」と答えた場合) どのような症状が出ますか。

4.今の体調はどうですか。

良い・普通・悪い

5.今の胃腸の調子はどうですか。

良い・普通・悪い

図 7: 実験前アンケート

No _____

Date _____

1 回目・2 回目

実験後アンケート

1 回目の映像と 2 回目の映像では、どちらの方が

- | | |
|-----------------------|------------------|
| 1. 移動している感じがしましたか、 | 1 回目・2 回目・どちらも同じ |
| 2. 立体感がありましたか、 | 1 回目・2 回目・どちらも同じ |
| 3. 空間や位置を理解しやすかったですか、 | 1 回目・2 回目・どちらも同じ |
| 4. 動きを理解しやすかったですか、 | 1 回目・2 回目・どちらも同じ |
| 5. 臨場感がありましたか、 | 1 回目・2 回目・どちらも同じ |
| 6. リアルでしたか、 | 1 回目・2 回目・どちらも同じ |
| 7. 快適でしたか、 | 1 回目・2 回目・どちらも同じ |
| 8. 不快したか、 | 1 回目・2 回目・どちらも同じ |
| 9. 酔いやすかったですか、 | 1 回目・2 回目・どちらも同じ |

どんな時に違和感や不快感を覚えましたか

実験の感想を自由に書いてください、

図 8: 実験後アンケート