

# 修士論文

一人称動画における  
速度感覚低減を目的とした  
動画提示手法の提案と評価

令和 4 年 提出

指導教員 小川剛史准教授

東京大学大学院

工学系研究科 電気系工学専攻

37-186496 堀越 尉央

## 概要

昨今、動画視聴が人々の娯楽として主流となっている。特にアクションカメラの高性能化に伴って、撮影者と同じ目線を共有できる一人称動画が人気コンテンツとなっている。しかし、現状の動画サイトでは、同じ動画を様々な感覚で楽しむということ是不可能的。これに対し本研究では速度感覚に着目し、一人称動画の速度感をユーザが自在に操作できるようになれば、より様々な楽しみ方を味わえる娯楽にできると考えた。そこで本研究では、先行研究で着手されていない、速度感覚を低減することのできるような動画提示手法を提案し、被験者実験によりその効果を調査した。

## Abstract

Watching movies is mainstream as entertainment for people. In particular, first-person videos that can share the same perspective with the photographer have become popular content along with the increasing performance of action cameras. However, with the current video sites, it is not possible to enjoy the same video in various ways. On the other hand, in this research, we focused on the sense of speed, and thought that if the user could freely control the sense of speed in the first-person videos, it would be possible to enjoy watching videos in more various ways as entertainment. Therefore, in this study, we proposed a video presentation method for reducing the sense of speed, which has not been advanced in the previous studies, and investigated its effect by subject experiments.

## 目次

概要 .....	i
Abstract .....	i
<b>第 1 章 序論 .....</b>	<b>1</b>
1.1 研究背景 .....	1
1.2 目的 .....	1
1.3 本論文の構成 .....	2
<b>第 2 章 関連研究 .....</b>	<b>3</b>
2.1 視覚特性に関する知見 .....	3
2.2 視覚特性を利用した映像コンテンツの知覚操作に関する研究 .....	3
2.3 速度感覚操作に関する研究 .....	5
2.3.1 オプティカルフロー .....	5
2.3.2 速度感覚操作手法に関する先行研究 .....	6
2.4 本研究の位置付け .....	9
2.4.1 速度感覚の操作に関して .....	9
2.4.2 ディスプレイに関して .....	9
<b>第 3 章 提案システム .....</b>	<b>11</b>
3.1 動画提示手法 .....	11
3.2 パラメータに関する説明 .....	11
3.2.1 分割数 .....	11
3.2.2 フレームレート .....	13
<b>第 4 章 実験設定 .....</b>	<b>16</b>
4.1 使用映像 .....	16
4.2 画像処理の取り決め .....	16
4.2.1 フレームレートの倍率 .....	16
4.2.2 分割数とフレームレートの割り当て .....	16
4.2.3 合成 .....	17
4.3 実験環境 .....	18
<b>第 5 章 評価実験 .....</b>	<b>21</b>
5.1 一般道走行動画を用いた本手法の評価 .....	21
5.1.1 目的 .....	21
5.1.2 実験内容 .....	21

5.1.3 実験結果 .....	22
5.1.4 考察.....	24
5.2 高速道路走行動画を用いた本手法の評価.....	25
5.2.1 目的.....	25
5.2.2 実験内容 .....	25
5.2.3 実験結果 .....	26
5.2.4 考察.....	28
5.3 高速道路走行動画(173km/h)を用いた本手法の評価.....	28
5.3.1 目的.....	28
5.3.2 実験内容 .....	29
5.3.3 実験結果 .....	29
5.3.4 考察.....	31
5.4 カーブ走行動画(km/h)を用いた本手法の評価.....	31
5.4.1 目的.....	31
5.4.2 実験内容 .....	32
5.4.3 実験結果 .....	32
5.4.4 考察.....	34
<b>第 6 章 結論 .....</b>	<b>35</b>
6.1 結論 .....	35
6.2 今後の研究 .....	35
<b>謝辞 .....</b>	<b>37</b>
<b>参考文献.....</b>	<b>38</b>
<b>発表文献.....</b>	<b>42</b>
<b>付録.....</b>	<b>43</b>



## 図目次

図 2-1: Jones らの IllumiRoom (雪上レースゲームの周辺に雪を投影している様子).....	4
図 2-2: 福地らのシステム(オーロラ映像の周辺にグリッド錯視を付加した様子).....	5
図 2-3: 松井らのシステム(水中映像の周辺に水の動きを付加した様子) .....	5
図 2-4: 岡野らのシステム(周囲の LED マトリクスの点滅によるオプティカルフロー増強).....	6
図 2-5: Bruder らのシステム(ビデオシースルー環境における視覚刺激提示).....	7
図 2-6: 浅井らのシステム(周辺ピクセルを周辺に引き延ばすエフェクトを提示).....	8
図 2-7: 中嶋らの速度感増強システム(周辺情報を削除し,代わりに LED アレイを中心から外側に向かって点灯させて視覚の運動知覚部位を刺激し,迫力感を増強する)...	8
図 3-1: 提案手法の概略図 .....	12
図 3-2: 分割の例(左: $d = 2$ , 右: $d = 4$ ).....	13
図 3-3: フレームレート操作の例(フレームレートを元の $1/2$ 倍にする場合).....	14
図 3-4: 内側の領域のフレームが外側のフレームよりも過去の映像を表示してしまう場合 .....	15
図 4-1: 条件 E の動画([41]から引用した動画の一部分から作成,4 つの領域に分割され,内側から順に $1/4$ 倍ずつ低下するフレームレートで再生されている) .....	18
図 4-2: 実験環境.....	19
図 4-3: ディスプレイ中心に貼った目印 .....	20
図 4-4: 視聴距離の計算.....	20
図 5-1: 実験 5.1 における視聴動画 .....	22
図 5-2: 実験 5.1 の結果 .....	23
図 5-3: 実験 5.2 における視聴動画 .....	26
図 5-4: 実験 5.2 の結果 .....	27
図 5-5: 実験 5.3 の結果 .....	30
図 5-6: 実験 5.4 における視聴動画 .....	32
図 5-7: 実験 5.4 の結果 .....	33

## 表目次

表 5-1:実験 5.1 における速度感覚の評価.....	23
表 5-2:実験 5.2 における速度感覚の評価.....	27
表 5-3:実験 5.3 における速度感覚の評価.....	30
表 5-4:実験 5.4 における速度感覚の評価.....	33
表 A-1:実験 5.1 で得られた回答(被験者 8 名分の合計).....	43
表 A-2:実験 5.1 で得られた分散分析表 .....	43
表 A-3:実験 5.1 で確認された有意差.....	44
表 A-4:実験 5.2 で得られた回答(被験者 8 名分の合計).....	44
表 A-5:実験 5.2 で得られた分散分析表 .....	44
表 A-6:実験 5.2 で確認された有意差.....	45
表 A-7:実験 5.3 で得られた回答(被験者 8 名分の合計).....	45
表 A-8:実験 5.3 で得られた分散分析表 .....	45
表 A-9:実験 5.3 で確認された有意差.....	46
表 A-10:実験 5.4 で得られた回答(被験者 8 名分の合計).....	46
表 A-11:実験 5.4 で得られた分散分析表 .....	46
表 A-12:実験 5.4 で確認された有意差.....	47

# 第1章 序論

## 1.1 研究背景

Youtube[1]などのオンデマンド型動画配信サービスが普及し、今や人々は家にいたとしても、娯楽としてスマートフォンや PC で様々な動画コンテンツを楽しむことができるようになった。一方、一般に動画視聴は動画単体でも楽しめるが、こうしたコンテンツをより違った感覚で見たいというニーズも存在している。例えば、ディスプレイの解像度といった視聴環境の改善が日々なされているという事例[2]や、ニコニコ動画[3]のように動画視聴中にコメントを他者と共有することで動画の面白みを増幅させるといったサービスが有名であろう。しかし、この両者には違いがある。前者はコンテンツが元々持っている質を引き出すための方法であるのに対し、後者は元のコンテンツに含まれていない情報により、新たな演出を加える方法である。もしニコニコ動画などのように、既に存在する動画コンテンツに対してとある感情の増幅、もしくは低減が自在になればユーザは同一の動画でも様々な感覚でその動画を楽しめることができ、動画視聴がより良い娯楽になるのではないかと考えた。

そこで、本研究では一人称動画の速度感覚に着目した。一人称動画とは、カメラを撮影者の頭部などに接続して撮影者の目線を撮影した動画であり、近年のアクションカメラの小型化・高性能化[4]に伴ってそのコンテンツも増えている。一人称動画は、普段自分がしないような体験をする撮影者の視点を擬似的に共有できるため、レアな体験を味わえた気分になれるという特徴がある。また、人間の速度感覚の要素の多くは人間の視野における周辺視野と呼ばれる外側の視野から受け取っており、多くの運動情報を含むことが知られている。すなわち、動画内における周辺領域と中心領域を区別し、周辺領域での映像提示を工夫することで動画の速度感を操作できるのではないかと仮説を立てた。一人称動画の速度感覚を操作可能なシステムが存在すれば、同一の動画でも異なった速度感で楽しむことができるようになる。

したがって本研究では、一人称動画の速度感を変化させる手法を提案する。速度感覚を変化させるにあたり、増強、低減のどちらかが考えられるが、増強を目的とした研究は先行例が多く存在する。逆に、速度感覚を低減とする手法としては、これまで報告が極めて少ない。よって、本研究では、これまで知見の少ない、速度感覚を低減する動画提示手法を提案し、被験者実験によりその評価を行った。

## 1.2 目的

本研究では、動画の速度感覚に着目し、一人称動画の視聴において速度感を可変化できる

ようにするための一環として,一人称動画の速度感覚を低減させることを目指し,簡易な画像処理を用いた新しい動画提示手法を提案する.さらに被験者実験によって提案システムを使用して一人称動画を視聴した際の被験者の速度感覚変化を調査し,提案手法の有効性を検討する.

### 1.3 本論文の構成

本論文の構成は次のとおりである.

まず,第2章では本研究の関連研究について紹介し,本研究の位置付けを行う.次に,第3章では,提案手法の説明を行い,システム構成および映像提示アルゴリズムを述べる.第4章では,実験に関してのいくつかの共通の取り決めを述べ,第5章ではシステム評価を行うための被験者実験およびその結果と考察について述べる.最後に,第6章で本稿をまとめる.

## 第2章 関連研究

本章では,本研究と関連がある研究について紹介する.視覚特性に関する知見,視覚特性を利用した映像コンテンツの知覚操作に関する研究,速度感覚操作に関する研究について説明する.

### 2.1 視覚特性に関する知見

人間の視野には中心視野と周辺視野と呼ばれる 2 種類の視野が存在する[5].中心視野にあたる網膜部分には色覚や細部の認識に優れている錐体細胞が多く分布しているため,中心視野は詳細な情報の認識に優れている.一方,周辺視野にあたる網膜部分には空間分解率の低い桿体細胞が多く分布しており,詳細な情報の認識や色覚には優れていないが,明度や運動の知覚,対象の全体像の把握能力などに関して優れている[6].また,福田は,CFF(明滅する光のちらつき具感がちょうど消失する周波数)で示される中心視野と周辺視野の感度差において,光のちらつきを最も敏感に感じ取るのは周辺視野であることも明らかにしている[7].

Fernndes らは周辺視野における運動知覚の過敏さを利用し,VR 空間において前方を注意しながら移動しているユーザの視野角を狭めることで VR 酔いを軽減する効果があると明らかにしている[8].これは,運動を過敏に知覚する周辺視野への刺激提示が減少したことに起因しているといえる.また,橘らは,PC 作業時にディスプレイの周辺視野部分へ内向きの縞模様を提示することで被験者の集中力の向上を実現している[9].筆者はこの原因として,内向きの縞模様の運動情報がトリガーとなって被験者の視線を誘引したものと分析している.松井らは,PC 画面のプログレスバーを待機する体感時間を短縮させるため,周辺視野にプログレスバーの周りを高速で回転するオブジェクトを提示する手法を提案し,実際に主観的な体感時間を短縮させることに成功している[10].

以上の知見があることに加え,周辺視野での情報処理は無意識下に行われるため疲労感が少なく,コンテンツの周辺に刺激が提示されていても意識が大きく阻害されることはなく刺激を認識・処理することができる.つまり,映像コンテンツにおいて周辺視野に適切な刺激を提示することで,映像体験を変容させることが可能であると考えられる.

### 2.2 視覚特性を利用した映像コンテンツの知覚操作に関する研究

2.1 節で述べたような視覚特性を生かし,映像コンテンツにおけるユーザの視聴体験を拡

張させる取り組み行われている.Jones らの”IllumiRoom”では,ゲームプレイ時のディスプレイ周辺の壁や床にゲームの場面对応したコンテンツをプロジェクタから出力することで,臨場感や迫力を増強させることに成功している(図 2-1)[11].福地らのシステムでは,コンテンツ周辺部分へ動的に変化する錯視図形を提示することでコンテンツに抱く印象の変化を図り,錯視の種類によって動揺や不安,楽しさなどの印象値が向上することを明らかにしている(図 2-2)[12].松井らは,動画コンテンツの周辺にカメラ映像を提示し,さらにその提示映像に動画と連動したエフェクト,例えば水中映像であれば水の中を想起させるよう水泡のエフェクトを背景映像に付加することでユーザの映像コンテンツに対する印象を変化させることに成功している(図 2-3)[13].

このように,動画にない情報を付加させることで,元の動画を見ているだけでは感じなかった感覚の生起,もしくはユーザの知覚増強を促し,視聴体験を拡張させることが可能であるといえる.本研究においても同様に動画コンテンツ視聴における無意識な知覚操作を目指している.中でも本稿では,動画視聴において人気を博している一人称動画を取り上げ,速度感覚に着目した.



図 2-1:Jones らの IllumiRoom (雪上レースゲームの周辺に雪を投影している様子)[11]



図 2-2:福地らのシステム(オーロラ映像の周辺にグリッド錯視を付加した様子)[12]

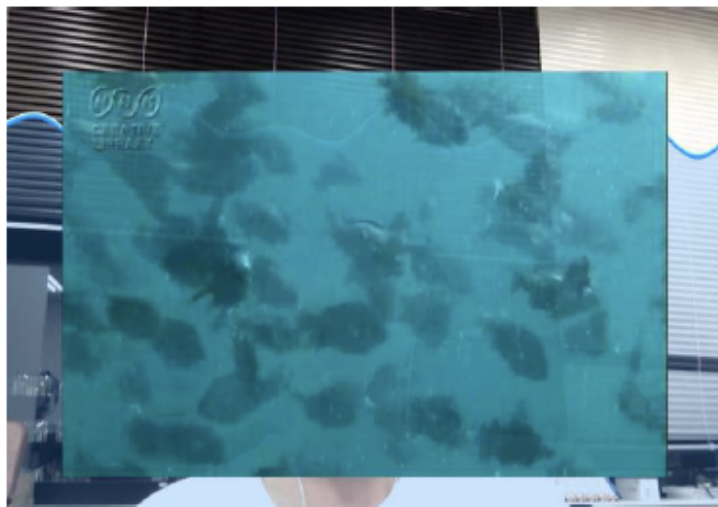


図 2-3:松井らのシステム(水中映像の周辺に水の動きを付加した様子)[13]

## 2.3 速度感覚操作に関する研究

### 2.3.1 オプティカルフロー

速度感覚に関する研究が多く行われている[14-18].人間の速度の知覚に影響を及ぼすの

は、視覚や聴覚、前庭感覚、固有感覚(運動感覚)であるとされており[5,19-22],その中でも最も影響を与えるのは視覚である[23-28].2.1 節で周辺視野は運動情報の処理に優れていると述べたが、速度感覚とも密接に関連しており、中でも速度感覚に影響を及ぼすのは周辺視野におけるオプティカルフローである[29-32].

オプティカルフローとは運動に伴う景色や物体等の動きをベクトルで表現したものであり、自己運動の情報が含まれている.例えば、人間が前進するとその人物の視界には拡大焦点(Focus of Expansion,FOE)と呼ばれる中心点から外側に向かう放射状のオプティカルフローが発生するが、人間はこの FOE を用いて進行方向や自己運動(自分が運動しているという感覚で、一般に速度感覚を包含している)を知覚する[33-36].岡野らは、ルームランナーで運動を行う際の自己運動感覚の低下を解消する手法を提案している(図 2-4)[37].これは、左右と下の 3 方向を覆うような LED マトリクスを頭部に装着し、進行方向とは逆向きに光点を流すことでオプティカルフローを表現し、速度感覚を増強させている.

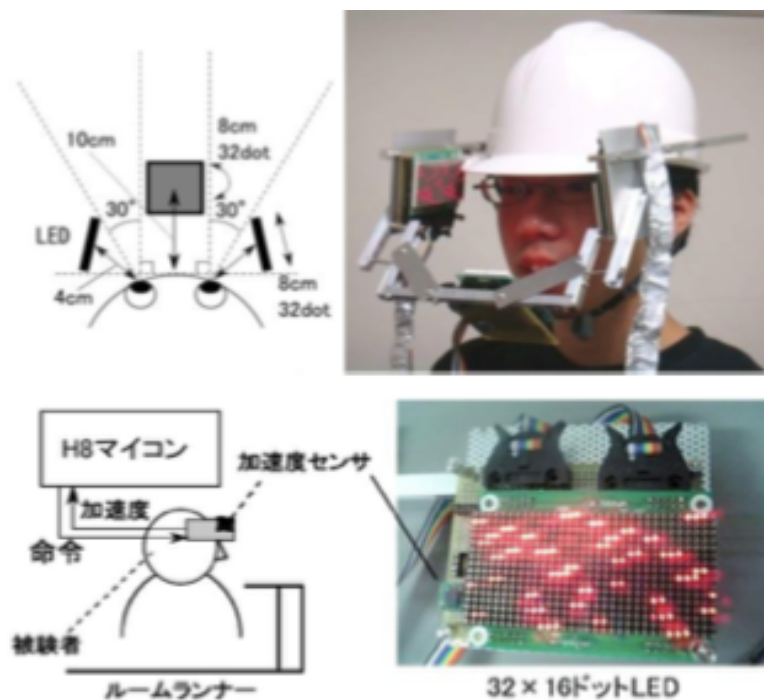


図 2-4:岡野らのシステム(周囲の LED マトリクスの点滅によるオプティカルフロー増強)[37]

### 2.3.2 速度感覚操作手法に関する先行研究

Bruder らは、3 種類の視覚刺激提示手法を用い、体感速度を変化させている(図 2-5)[38].カ



メラから取得したフレームの提示タイミングを意図的に調節する手法、フレームを次第に拡大・縮小して提示する手法、視界のオプティカルフローを強調する手法の3手法を用いて、ビデオシースルー型のHMDを装着したユーザが歩く際の視野を提示する。被験者実験により、体感速度に与える影響を評価した結果、体感速度が有意に上昇・低下することが確認された。

浅井らは、Bruderらの手法の一つを応用し、頭部に装着したヘッドセットとそれに内蔵したiPhoneを用いて、iPhoneのカメラから撮影している映像の周辺視野部分のピクセルを外側へ移動させてぼかすエフェクトをストライドに合わせて付加し、ヘッドセットに提示させて歩かせることで、ウォーキングの楽しさや体感速度の向上を試みた(図2-6)[39]。その結果、Bruderらの手法よりも優位にウォーキング時におけるシステム使用時間が長くなり、被験者の満足度向上を実現した。

中嶋らは周辺視野の動きに対する感度の高さに着目し、周辺視野ではLEDにより低解像度で動きのみを提示する装置を作成した(図2-7)[40]。このシステムでは、レースゲームの映像を用い、画面に表示された速度表示を検出し、その速度に応じた速度でLEDアレイを点灯させることで視聴者の速度感を増強させる。この時、中嶋らは、迫力感を増強するために、視覚特性を利用してLEDは中心から放射状に点灯させている。

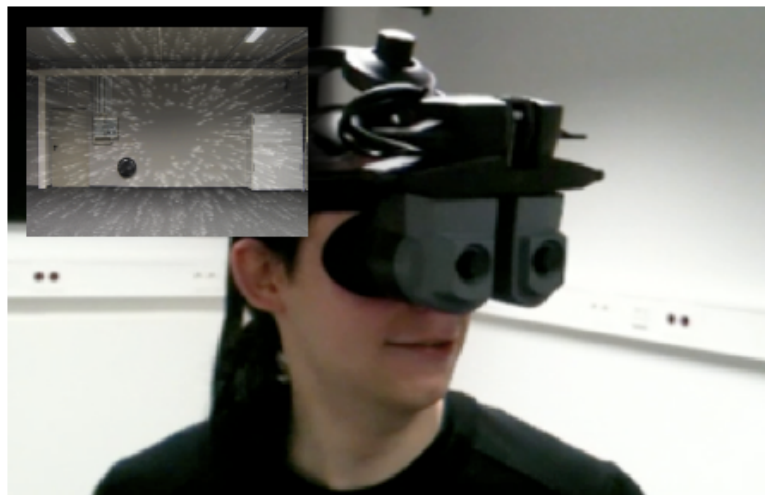


図2-5:Bruderらのシステム(ビデオシースルー環境における視覚刺激提示)[38]



図 2-6:浅井らのシステム(周辺ピクセルを周辺に引き延ばすエフェクトを提示)[39]



図 2-7:中嶋らの速度感増強システム(周辺情報を削除し,代わりに LED アレイを中心から外側に向かって点灯させて視覚の運動知覚部位を刺激し,迫力感を増強する)[40]

## 2.4 本研究の位置付け

### 2.4.1 速度感覚の操作に関して

先行研究における速度感覚操作は、増強を目的とした研究が多く、速度感覚の低減を目的としたシステム提案は極めて少ない。この理由として、映像コンテンツにおいては迫力感や爽快感といった感覚が好まれる状況の方が多いからだと考えられる。しかし、例えば速度感覚の増強システムと併用して、速度感覚の低減が可能なシステムが存在すると仮定してみると、3つのメリットがあると考えられる。1つ目は、ユーザが普段動画視聴において音量や再生速度などを操作するのと同じように、自分が楽しめる任意の速度感で動画を視聴できるようになる。2つ目は、水中散歩など、迫力感や爽快感というよりもゆったりとした感覚による楽しみの比重が高い一人称映像のゆったり感を増すことができる。3つめは、バンジージャンプやスカイダイビングなど、瞬間最大速度が高い一人称映像に対し適用することで、現実では感じられない、ゆったりと空中を落下するように見える一人称視点を体感できる可能性がある。このように、速度感覚の低減が可能なシステムが存在することで、運動を伴う一人称動画をあるときは速く、あるときは遅く感じることができ、動画視聴の楽しみを増幅できると考えた。

一方、Bruderらは、現実空間において速度感覚の低減も実現しているが、Bruderらの手法を平面での動画視聴に適用することは難しい。理由としては、いずれの手法もカメラからリアルタイムに取得したフレームの提示タイミングやフレーム自体に処理を加えることで発生する現実との乖離を解消するために、提示フレームを調節する必要があるからである。実際にこれらの手法を動画視聴に用いると、視聴中にコンテンツ部分の縮小をするか、フレームの提示タイミングを遅らせるという処理を加えることになるが、どちらも動画視聴を大きく阻害すると考えられる。

したがって、本研究では速度感覚操作に関して、動画視聴を極力妨げないように、動画の周辺領域のみを利用して無意識に速度感覚を低減することを目指す。

### 2.4.2 ディスプレイに関して

一方、ディスプレイに関して、岡野ら、Bruderら、浅井らの研究は現実空間での3次元空間の歩行によりシステムの効果を検討しているが、これらにはストライドにおける体性感覚も起因している。これに対し座位における平面の映像コンテンツに対しては、一般にコンテンツが占める視野角が狭まる上に速度情報が視覚にのみ依存する状況になる。例えば40インチのディスプレイを2m離れてみた場合は25°程度となり、ごくごく狭い領域を占めることになる。中嶋らはレースゲーム映像の周辺のスペースを利用しているが、日常の動画視聴を考

えると,環境的制約がある.

そこで,本研究では外部ディスプレイでの視聴を想定し,外部の空間を使用することなくディスプレイの中で知覚操作を実現することを目指す.

## 第3章 提案システム

### 3.1 動画提示手法

本研究では、人の視野特性に着目し、動画周辺の運動情報を操作することで動画視聴における速度感覚を低減することを目的とし、一人称動画としての質を極力阻害しないよう、ユーザーに「前に進まない」という感覚を植え付けることを狙う。そこで本稿では、画像処理を使用し、撮影者の前方には加工を加えないが、周辺領域は複数の領域に分け、それぞれの領域で異なったフレームレートで再生させる手法を提案する。

本研究において、画像処理の際はプログラミング言語として `python` を用い、画像処理ライブラリである `Open CV(ver.4.4.0)` を用いた。その際 PC として MacBook Air を用い、`macOS Mojave(ver.10.14.6)` 環境下、プロセッサ速度は 1.7GHz であった。

提案手法の概要を図 3-1 に示す。ディスプレイの中央に視聴したい動画の中心部分を表示させ、外側に行くにつれて中心に配置する動画のフレームレートを低下させた状態の動画を配置する。具体的には、最下層に最も低いフレームレートとした視聴動画を設置し、その上に 2 番目に低いフレームレートとした視聴動画の左右外側の領域を省くようトリミングをし、最下層の動画と中心が揃うように設置、…これを繰り返し、最後に画像処理をしていない、オリジナルの視聴動画の中心部分を配置する。これにより、ディスプレイ中心には通常のフレームレートで、周辺では外側にあるほど低いフレームレートで再生される動画を構成でき、周辺におけるフレームレートがディスプレイ中心の領域におけるフレームレートと相対的に低いことから撮影者の移動が「遅い」と無意識に知覚させることを狙う。以下では、本研究における 2 つのパラメータと、その取り決めを説明する。

### 3.2 パラメータに関する説明

#### 3.2.1 分割数

本稿では、提案手法により複数のフレームレートの同一動画を重畳することで、フレームレートの異なる領域が生まれるが、この一連の行為を分割と呼ぶことにする。また、分割によって各領域で使用するフレームレートの種類数を分割数  $d$  とする。例えば、 $d = 2$ 、 $d = 4$  の場合は図 3-2 のような構成になる。

また、分割の仕方は、ディスプレイのサイズを  $h \times w$  とすると、フレームレートを操作しない中心の領域を視聴したい動画の中心半分とし、サイズを  $h \times (w/2)$  とする。また、余った左右そ

れぞれ $w/4$ の領域を,さらに $d-1$ 個等間隔になるように分ける.本稿では全ての場合で,上記のようにして分割数 $d$ の動画を作成した.

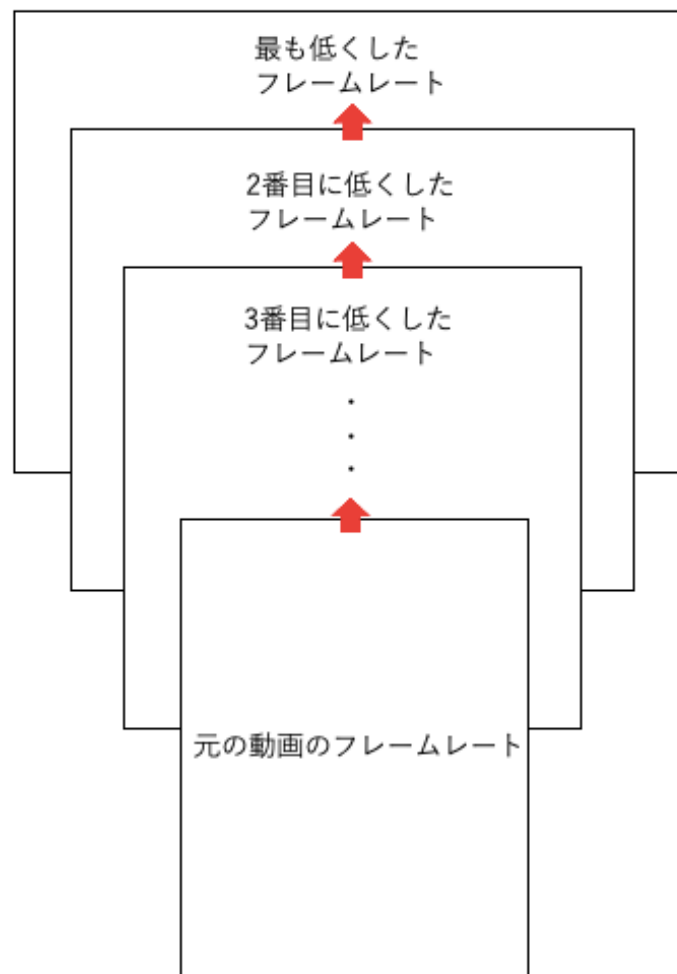


図 3-1:提案手法の概略図

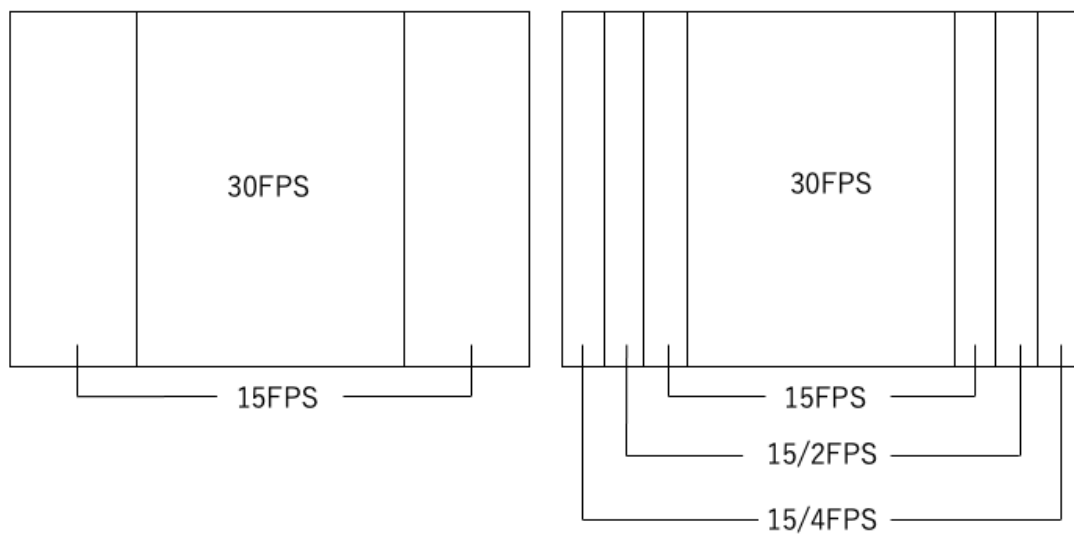


図 3-2:分割の例(左:  $d = 2$ , 右:  $d = 4$ )

### 3.2.2 フレームレート

フレームレートの操作は OpenCV を用いた.まず,フレーム全てに 0 から始まる番号を再生される順番に割り当てる.このときフレーム番号を $i$  とすると,フレームレートを $1/m$ 倍にするには,  $i$ がある数 $m$ の倍数であればフレームを更新させるように重み付けをすれば良い.こうすることで,例えば,フレームレートを  $1/2$  倍にしたいときは,図 3-3 のように  $i$  が 2 で割った時の余りが 0 かどうかを判別する条件式を設けることで,1 フレーム置きに再生される動画を再現できる.

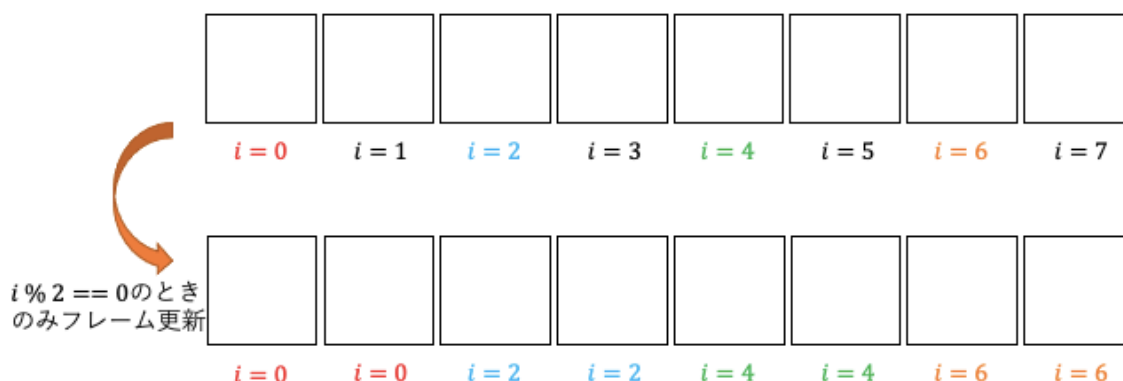


図 3-3: フレームレート操作の例(フレームレートを元の 1/2 倍にする場合)

しかし、フレームレートは任意の値に設定はできない。なぜなら、外側の領域が内側の領域の映像よりも過去のフレームを表示している瞬間が生まれる可能性があるからである。

例えば、 $d = 3$ にしたときを考える。元のフレームレートが 30FPS である場合を想定し、さらにこのフレームレートを 1/3 倍、1/7 倍にした領域を用いるとする。このとき再生されるフレームは領域ごとに図 3-4 のようになる。 $i = 6$ のフレームが流れるまでは外側ほど過去のフレームを表示しているか、もしくは内側の領域と同じフレームを表示している。しかし、 $i = 7$ のフレームを表示するとき、中心から 2 番目に配置した領域で  $i = 6$ のフレーム、最外領域では  $i = 7$ のフレームが表示されていることになる。この影響は、上記のような表示フレームの齟齬が発生する時間が短い場合や、フレーム番号の差異が小さい場合影響は小さいと考えられるが、本手法の意図は外側の領域ほどフレームレートを低下させた映像を表示し、内側の領域よりも過去の映像を見せることで視聴者に「遅い」と知覚させることである。したがって、本稿においては図のようなフレーム順序の齟齬が 1 回たりとも起こらないよう、隣り合う領域のフレームレートは  $2^s$  倍( $s$ は自然数)で統一した。こうすることで、内側の領域のフレームが外側の領域のフレームよりも過去の映像を表示することはない。また、外側の領域ほどフレームレートが低いことと合わせて、内側の複数の領域は一定間隔ごとに同一フレームを提示することになり、画像処理がされてない状況に近い状態に戻すことができ、特に全ての領域が同一フレームを表示する  $1/(\text{最外領域のフレームレート})$ 秒毎のタイミングにおいては動画の全体像を視認することができる。したがって、実装にあたりフレームレートを任意の値に設定するよりも一人称動画の内容自体を極力阻害しないようにできると考えた。



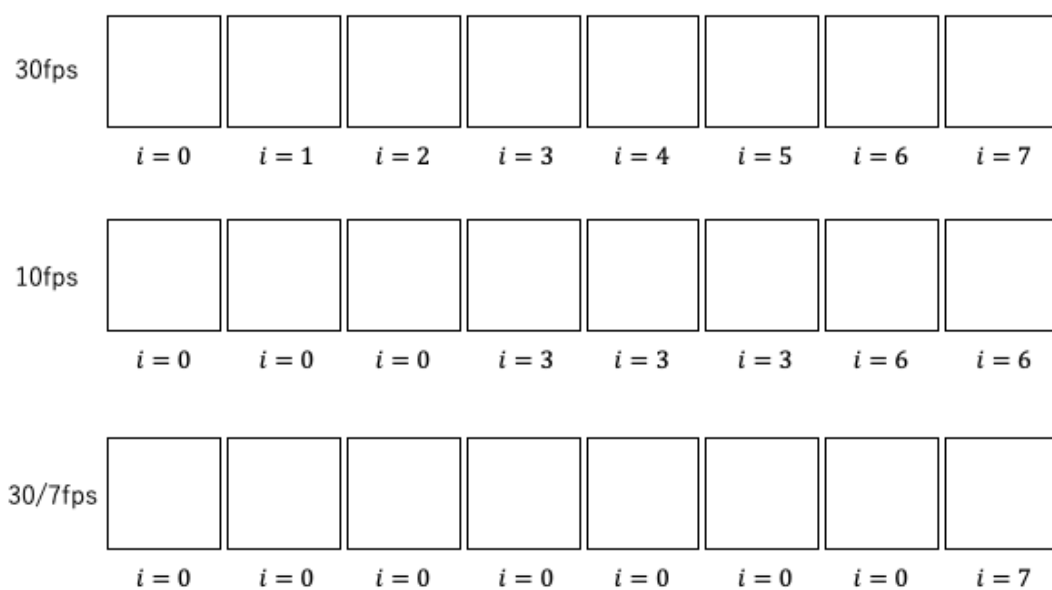


図 3-4:内側の領域のフレームが外側のフレームよりも過去の映像を表示してしまう場合

## 第 4 章 実験設定

本研究では,一人称動画としてドライブ動画を用いる.一般道路における走行,高速道路における走行,高速道路における走行を 2 倍速にしてフレームレートを調節したものの合計 3 パターンの直進ドライブ動画と,直角にカーブを曲がる映像の合計 4 パターンの映像を用意し,実験に使用した.以下に設定を詳述する.

### 4.1 使用映像

本実験ではドライブ映像を使用した.COVID-19 による影響や,道路交通法,居住地の観点から本章の冒頭で述べた条件の走行映像を自ら撮影することは困難であったため,動画サイト youtube の中から適する動画を選択して使用した [41,42].本研究で使用した全ての動画は同一ユーザの投稿動画であり,フレームレートは 30FPS であった.

### 4.2 画像処理の取り決め

#### 4.2.1 フレームレートの倍率

3 章で述べたように,ドライブ動画のフレームレートを操作した複数の動画を合成する際,外側の領域のフレーム部分が内側の領域のフレームよりも先のフレームを表示している状況が発生しかねず,その場合は被験者に不自然さを抱かせてしまう.そこで,本実験では,3 章で述べたように,中心から外側へ向かって順にフレームレートの倍率を  $1/2$  の累乗倍に変化させることとし,上記の問題を解決した.本実験では, $30 \times 2^{-m}$  ( $m = 0,1,2,3,4,5,6$ ) の合計 7 種類のフレームレートを使用した.

#### 4.2.2 分割数とフレームレートの割り当て

4.2.1 で述べたフレームレートからなるドライブ動画を用意し,実験においてはこれらを組み合わせてできる動画を新しい 1 枚の動画として PC に保存する.作成した実験用の動画は,A…画像処理を施さないオリジナルの動画,  $B \cdots d = 2$ ,最外フレームレート:  $1/8$  倍,  $C \cdots d = 2$ ,最外フレームレート:  $1/64$  倍,  $D \cdots d = 4$ ,最外フレームレート:  $1/8$  倍,  $E \cdots d = 4$ ,最外フレームレート:  $1/64$  倍,  $F \cdots d = 6$ ,最外フレームレート:  $1/32$  倍,  $G \cdots d = 6$ ,最外フレームレート:  $1/64$  倍の計 7 種類である.

また,中心領域と最外領域の間の領域におけるフレームレート倍率の内訳を以下に示

す.1 倍は 30FPS を表している.

< $d = 2$ >

B...1,1/8

C...1,1/64

< $d = 4$ >

D...1,1/2,1/4,1/8

E...1,1/4,1/16,1/64

< $d = 6$ >

F...1,1/2,1/4,1/8,1/16,1/32

G...1,1/4,1/8,1/16,1/32,1/64

D,F に関しては隣り合う領域のフレームレート倍率を 1/2 倍ずつ低下,E は 1/4 倍ずつ低下するようにし,G に関してはフレームレート倍率を 1 倍,1/4 倍,1/8 倍,1/16 倍,1/32 倍,1/64 倍に設定した.

#### 4.2.3 合成

画像処理によってフレームレートを操作した動画群を, 3.2.1 での説明の通りのサイズにトリミングをし,PC 内に保存した後,合成を行った.合成にあたっては,本稿においては PowerPoint ソフトを利用し,同一ページ内に重畳することで作成した.作成した動画のサンプルを図 4-1 に示す.分割したそれぞれの領域がそれぞれのフレームレートで再生されていることを確認できた.また,全ての動画のサイズは 1280×720 で常に同じである.



再生



図 4-1:条件 E の動画([41]から引用した動画の一部分から作成.4つの領域に分割され,内側から順に 1/4 倍ずつ低下するフレームレートで再生されている)

### 4.3 実験環境

ディスプレイとして,ViewSonic VX2758-2KP-MHD-7 を使用した.画面サイズは 27

インチ( $h = 33.6\text{cm}$ ,  $w = 59.66\text{cm}$ ),解像度は  $2560 \times 1440$  であった.実験の際,被験者は椅子に座り,顎を固定して動画を視聴する.図 4-2 に実際の実験環境を示す.図 4-2 の様にディスプレイの前には,被験者全員が平等な条件となる様,頭部を固定する箱を設置した.実験における動画視聴中はこの箱に顎を乗せ,高さを調節できる椅子に座って楽な体勢をとってもらい,実験中動画を視聴するときはディスプレイの中央を注視し,速さの判定をさせた.目印として,図 4-3 の様にディスプレイの中央には  $7\text{mm}$  四方のガムテープを貼り,このガムテープを目印とさせた.なお,箱に顔を乗せたときの視界中心に目印が位置するよう,あらかじめ実験者の試行錯誤により箱表面とディスプレイ中心の高さの差を  $11\text{cm}$  で共通とした.さらに,実験前に全ての被験者に視界の中心に目印があるかという確認を行い,全員から問題ないとの回答を得たため,顔の大きさによる目線の高さの調節は行わなかった.

また,本稿では図 4-4 のように,フレームレート操作を行った領域が,人間の周辺視野と呼ばれる中心視約  $40^\circ$  ,つまり左右それぞれおよそ  $20^\circ$  よりも外側の視野に位置するように,視聴距離(顎を乗せる位置とディスプレイとの距離)を  $40\text{cm}$  とした.

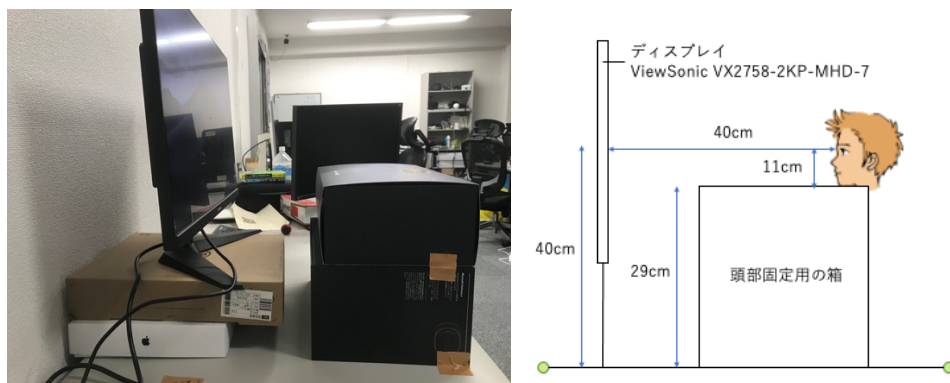


図 4-2:実験環境



図 4-3:ディスプレイ中心に貼った目印

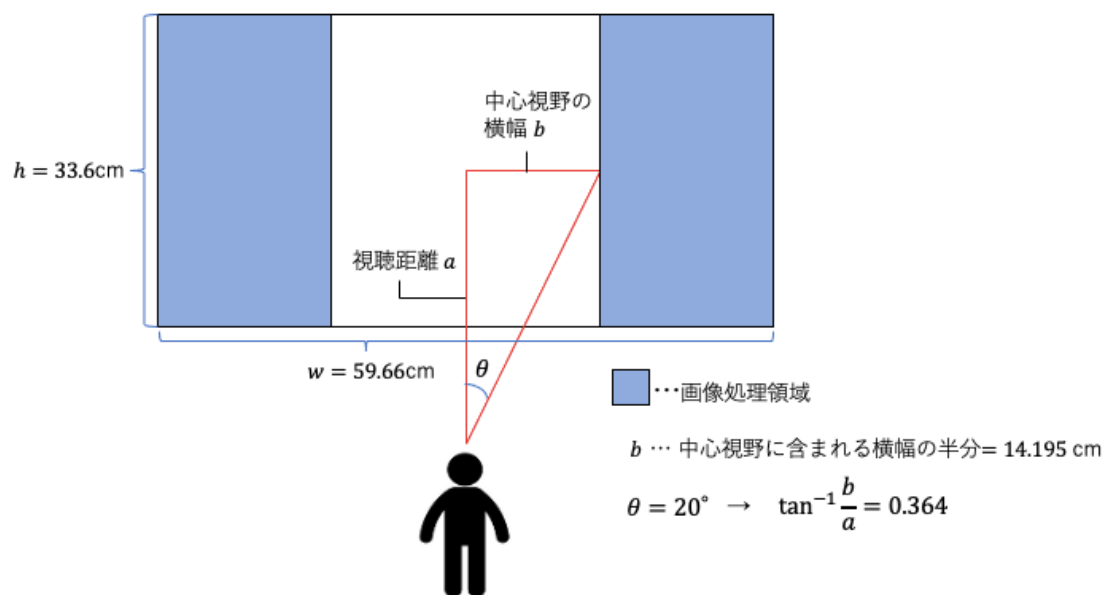


図 4-4:視聴距離の計算

## 第 5 章 評価実験

本章では提案システムの速度感覚に与える影響を調べるために様々な条件下で速度評価実験を行った。使用動画については文献[41,42]から引用した。また、実験用に抽出した動画の中の、車道に表示されている道路標識から車の速度を概算した。具体的には、実験 5.1~5.3 では通過した全ての車線境界線の本数、間隔、長さを求め、走行速度=(間隔+長さ)×通過本数/動画の再生時間により算出した。実験 4 ではカーブ走行のスピードは一定とみなせないと考え、カーブ区間に表示されている導流帯の白線同士の間隔とそれら 20 本分それぞれの通過時間から速度を算出し、20 回分の平均を求めた。道路標識の寸法は文献[43,44]を参考にした。通過時間は Macbook Air に標準搭載されている QuickTimePlayer より、小数第二位までの秒数を計測したものをを用いた。その結果、実験 1 では 37~38km/h、実験 2 では 86~88km/h、実験 3 では 172~174km/h、実験 4 では 35~45km/h での走行であると概算された。なお、本実験の被験者は全て、本研究の内容について少なからず把握していた。

また、以下では 4.2.2 で定めた A~G の動画群を、表記の都合上 D(1,1/2,1/4,1/8)のように、使用しているフレームレートの倍率をラベルとともに示している。

### 5.1 一般道走行動画を用いた本手法の評価

#### 5.1.1 目的

提案手法が 37~38km/h で走行中のドライブ動画視聴時における速度感覚に与える影響を検証するための評価実験を行う。

#### 5.1.2 実験内容

本実験はシェッフェの一对比較法(浦の変法)に基づいて行われた。4 章で述べた様に、被験者はディスプレイの前に座る。ディスプレイ中心の目印を見ながら再生される 7 パターンの動画のうち、被験者はランダムに 2 つの動画を順番に提示され、後に見た方の速度感を-2(かなり速くなった),-1(やや速くなった),0(変わらなかった),+1(やや遅くなった),+2(かなり遅くなった)の 5 段階で評価させた。視聴回数は 7 パターンの動画において順序効果を考慮し、かつ 1 試行あたり 2 つの動画を再生するため、 $42 \times 2 = 84$  回動画を視聴し、速度感の比較を  $7 \times 6 = 42$  試行行う。被験者は 20 代の成人男性 8 名であり、動画の再生時間は全て 8.00 秒で統一した。実験後には、自由アンケートを行った。視聴するドライブ動画のキャプチャを図 5-1 に示す。



図 5-1:実験 5.1 における視聴動画[41]

### 5.1.3 実験結果

シェッフェの対比較法(浦の変法)により得られた各条件における速度感覚の評価値を図 5-2,表 5-1 に示す.図 5-1 中の数直線は各動画を視聴して得られた心理尺度を表している.数値が大きくなるにつれて,被験者がより速いと感じたことを表す.実際に得られた回答を点数化したデータは表 A-1 に,分散分析表は表 A-2 に示す.また,全ての組み合わせにおける有意差の有無は表 A-3 に示す.



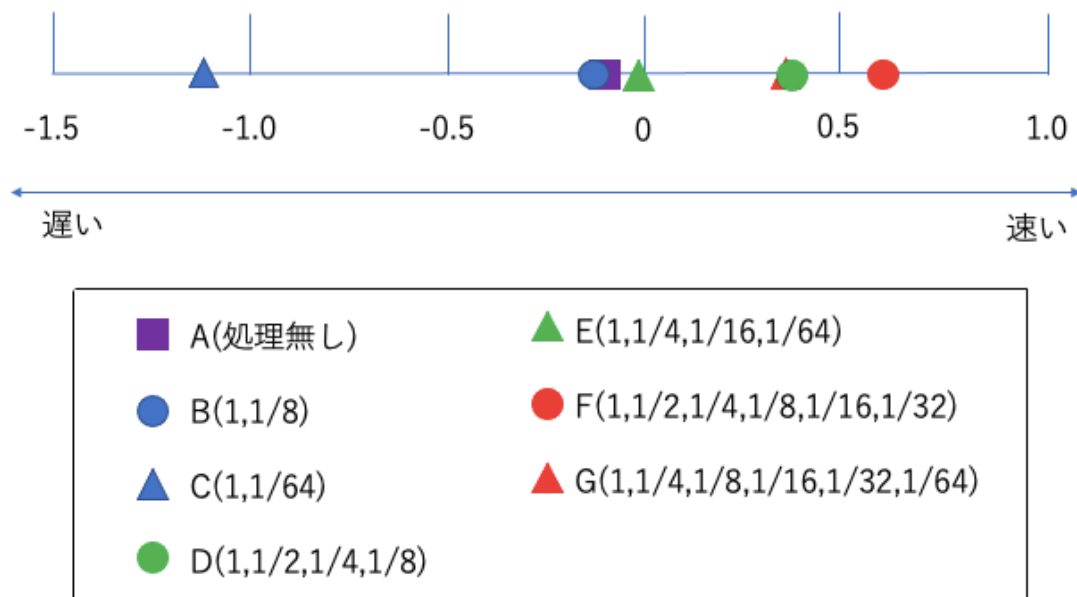


図 5-2:実験 5.1 の結果

表 5-1:実験 5.1 における速度感覚の評価

視聴動画	速度感覚の評価
A(処理なし)	-0.098
B(1,1/8)	-0.134
C(1,1/64)	-1.143
D(1,1/2,1/4,1/8)	0.411
E(1,1/4,1/16,1/64)	-0.018
F(1,1/2,1/4,1/8,1/16,1/32)	0.589
G(1,1/4,1/8,1/16,1/32,1/64)	0.393

基準となる A との有意差が確認された条件と、自由アンケートの結果は以下の通りである。自由アンケートのそれぞれの回答に対し人数が書いていないものは、回答者は 1 人であることを示す。

<A との有意差の有無>

- C,D,F,G において,1%水準で有意差が見られた
- B,E との間には有意差は見られなかった

<主な自由アンケートの回答>

- 早く感じる時があった(8 人)
- 分割数が増えるとフレームの更新回数が増えてるからか早く感じる(6 人)
- 分割数が増えると周辺の物体が流動的に流れていくように見えて,機械的处理がなされてる感が少ないのでは?(5 人)
- $d = 2,4$ の条件なら違和感を感じないが, $d = 6$ のときは景色が見にくくなる(5 人)
- 右側の空の部分などは色の変化がないからフレームレートが低くてもフレームが進んでも気にならなかった(5 人)
- A~G 全てにおいて,ドライブ動画としての質は全体として損なっていない(2 人)
- 元々がそこまで速くはないから,速く感じる時はいいがより遅く感じる時は風景だけでなく速度感的にも違和感(2 人)
- 領域の境界線は基本見えないけど,木と建物が分断するときは違和感を感じる
- 不思議な見え方をしている

#### 5.1.4 考察

A よりも速度感覚を低下させることに成功したのは C の条件のみであった。また,D,F,G の 3 条件は,本研究における仮説とは異なり,A よりも優位に速く見えるという結果となった。この理由として,アニメーションの原理などにも利用されている仮現運動に関する知見と関係していると考えた。

物理的に運動をしていないものが動いて見える錯覚を仮現運動という。その中で,光点などを順次点滅させていくと動いて見える錯覚を $\beta$ 運動という[45]。Wertheimer は, $\beta$ 運動における 2 つの刺激の切り替え時間 $T$ が,200ms 以上(継時時相)のとき運動として知覚されないという見解を示しており[46],この値は今もなお踏襲されている。また,文献[47,48]によると, $\beta$ 運動によって移動して見える速度は連続的に運動する実際の移動速度よりも速く知覚できるとされている。また,柴田らは周辺視における加減運動は中心視よりも高速に知覚されることを報告している[49]。

以上を踏まえて,まず D 条件に関しては,最外領域のフレームレートは  $30 \times 1/8$  であるから,最外領域のフレームは  $8/30 \div 0.27[s]$  ごとに更新される。これは 200ms 以上であるが,最外領域を除いて内側の領域では約 0.13 秒以内に更新される。したがって,周辺に位置している木などの物体の遷移が A 条件と比べると不連続ではあるものの,全体として一貫した運動

として知覚されていると考えられる。また、この運動知覚は A のような連続したものと比較して文献[47,48]の知見通り、瞬間的な移動量の大きさから速度感が速いように知覚されたと考えられる。

また、F,G に関しては、最外領域のフレームレートが D よりも低いのに関わらず、D と G が同程度で、F が最も速いと判定された。この理由として、分割数が多くなった分、領域間を仮現運動で瞬間的に移動する回数が増えたからだと考えられる。また、分割数が増えると周辺のフレームの更新回数が増え、この情報量の変化が、光点の点滅のように周辺視野を刺激したと考えられ、自由アンケートでも変化の多さが関係していそうと答えた被験者が数名いた。

さらに、どの分割数でも最外フレームレートのフレームレートを小さくした方が心理尺度が遅いと知覚されていることが確認できた。したがって、被験者が遅いと感じるようにするには、分割数を極力小さくし、使用する周辺領域のフレームレートは低く設定されていなければならないと考えられる。

## 5.2 高速道路走行動画を用いた本手法の評価

### 5.2.1 目的

提案手法が 86~88km/h で走行中のドライブ動画視聴時における速度感覚に与える影響を検証するための評価実験を行う。

### 5.2.2 実験内容

本実験はシェッフェの対比較法(浦の変法)に基づいて行われた。4 章で述べた様に、被験者はディスプレイの前に座る。ディスプレイ中心の目印を見ながら再生される 7 パターンの動画のうち、被験者はランダムに 2 つの動画を順番に提示され、後に見た方の速度感を-2(かなり速くなった), -1(やや速くなった), 0(変わらなかった), +1(やや遅くなった), +2(かなり遅くなった)の 5 段階で評価させた。視聴回数は 7 パターンの動画において順序効果を考慮し、かつ 1 試行あたり 2 つの動画を再生するため、 $42 \times 2 = 84$  回動画を視聴し、速度感の比較を  $7 \times 6 = 42$  試行行う。被験者は 20 代の成人男性 7 名と 20 代の成人女性 1 名であり、動画の再生時間は全て 8.00 秒で統一した。実験後には、自由アンケートを行った。視聴するドライブ動画のキャプチャを図 5-3 に示す。



図 5-3:実験 5.2 における視聴動画[41]

### 5.2.3 実験結果

シェッフェの対比較法(浦の変法)により得られた各条件における速度感覚の評価値を図 5.4,表 5.2 に示す.図 5.2 中の数直線は各動画を視聴して得られた心理尺度を表している.数値が大きくなるにつれて,被験者がより速いと感じたことを表す.実際に得られた回答を点数化したデータは表 A-4 に,分散分析表は表 A-5 に示す.また,全ての組み合わせにおける有意差の有無は表 A-6 に示す.

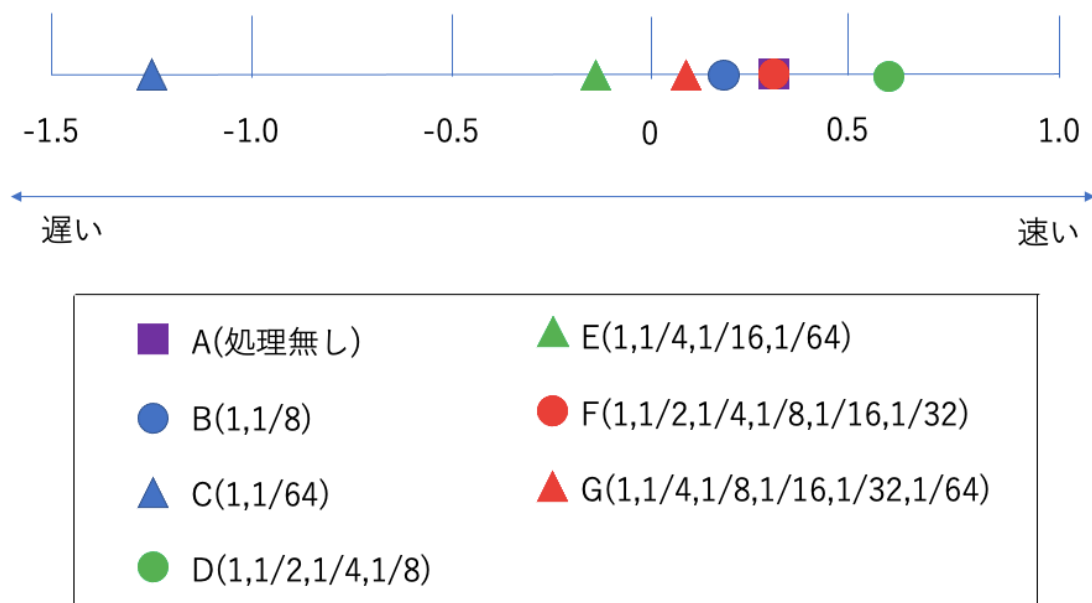


図 5-4:実験 5.2 の結果

表 5-2:実験 5.2 における速度感覚の評価

視聴動画	速度感覚の評価
A(処理なし)	0.295
B(1,1/8)	0.196
C(1,1/64)	-1.25
D(1,1/2,1/4,1/8)	0.580
E(1,1/4,1/16,1/64)	-0.152
F(1,1/2,1/4,1/8,1/16,1/32)	0.295
G(1,1/4,1/8,1/16,1/32,1/64)	0.036

基準となる A との有差が確認された条件と,自由アンケートの結果は以下の通りである. 自由アンケートのそれぞれの回答に対し人数が書いていないものは,回答者は 1 人であることを示す.

<A との有差の有無>

- C,E において,1%水準で有意差が見られた

- D との間において,5%水準の有意差が見られた
- B,F,G との間には有意差は見られなかった

#### <主な自由アンケートの回答>

- 分割数が6のときに周辺が煩わしくて速度感がわかりにくい(6人)
- 特に左側の情報量の変化が大きく,左側から遅さや速さを感じている気がする(4人)
- カクカクした感じが遅いと感じることと関係ありそう(3人)
- Cに関して,周りが動かなすぎる分,周辺から速度情報は取れないと感じた
- 思ったよりも違いを感じる
- 左側から速度を感じ取っているかもしれない(4人)

### 5.2.4 考察

実験 5.1 と比較して,E が A よりも有意に遅いと判定された一方で,F,G に関しては A との間に有意差は見られなかった.これに関して,6人の被験者が分割数6のときに周辺の様子が煩わしいと回答していることから,元々の走行速度が速いと本手法適用時の仮現運動から知覚される速度情報が何かしらの煩わしさに近い違和感を生じてしまうと考えられる.だとすると,D 条件では A よりも 5%水準で速いと判定されていることと合わせ,実験 5.2 における車の移動速度(約 86~88km/h)以上において 6 分割以上の使用は意味をなさない可能性がある.

一方で,C に加え E の条件も A よりも有意に遅いと判定された.理由として,移動速度が実験 5.1 よりも速く,一回あたりの景色の変わりようが大きいため,運動知覚から遠ざかってしまった可能性がある.すなわちこの結果には車の移動速度や景色が関係している可能性は否めない.さらに,速度の手がかりを左から感じるという被験者が 4 人いた.確かに実験 5.2 における視聴動画は図 5-3 のように左側に一定間隔で木が配置されており,色,明るさといった景色変化が多いからだと考えられる.すなわち,本手法は一人称視点周辺の障害物に影響されうることが示唆された.

## 5.3 高速道路走行動画(173km/h)を用いた本手法の評価

### 5.3.1 目的

提案手法が 172~174km/h で走行中のドライブ動画視聴時における速度感覚に与える影

響を検証するための評価実験を行う。本節の実験に使用する動画は実験 5.2 で使用した動画を 2 倍速としたのちフレームレートを半分にすることで擬似的に実現した。

### 5.3.2 実験内容

本実験はシェッフェの対比較法(浦の変法)に基づいて行われた。4 章で述べた様に、被験者はディスプレイの前に座る。ディスプレイ中心の目印を見ながら再生される 7 パターンの動画のうち、被験者はランダムに 2 つの動画を順番に提示され、後に見た方の速度感を -2(かなり速くなった), -1(やや速くなった), 0(変わらなかった), +1(やや遅くなった), +2(かなり遅くなった)の 5 段階で評価させた。視聴回数は 7 パターンの動画において順序効果を考慮し、かつ 1 試行あたり 2 つの動画を再生するため、 $42 \times 2 = 84$  回動画を視聴し、速度感の比較を  $7 \times 6 = 42$  試行行う。被験者は 20 代の成人男性 8 名であり、動画の再生時間は全て 8.00 秒で統一した。実験後には、自由アンケートを行った。

### 5.3.3 実験結果

シェッフェの対比較法(浦の変法)により得られた各条件における速度感覚の評価値を図 5.5、表 5.3 に示す。図 5.3 中の数直線は各動画を視聴して得られた心理尺度を表している。数値が大きくなるにつれて、被験者がより速いと感じたことを表す。実際に得られた回答を点数化したデータは表 A-7 に、分散分析表は表 A-8 に示す。また、全ての組み合わせにおける有意差の有無は表 A-9 に示す。

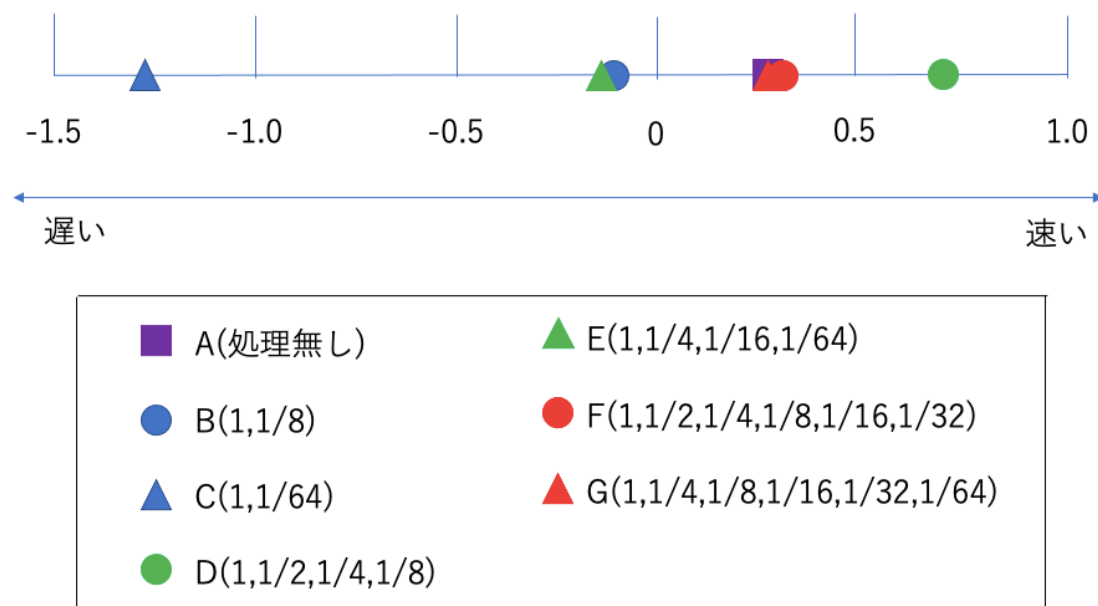


図 5-5:実験 5.3 の結果

表 5-3:実験 5.3 における速度感覚の評価

視聴動画	速度感覚の評価
A(処理なし)	0.268
B(1,1/8)	-0.116
C(1,1/64)	-1.295
D(1,1/2,1/4,1/8)	0.705
E(1,1/4,1/16,1/64)	-0.143
F(1,1/2,1/4,1/8,1/16,1/32)	0.313
G(1,1/4,1/8,1/16,1/32,1/64)	0.268

基準となる A との有差が確認された条件と,自由アンケートの結果は以下の通りである. 自由アンケートのそれぞれの回答に対し人数が書いていないものは,回答者は 1 人であることを示す.

<A との有差の有無>

- B,C,D,E において,1%水準で有意差が見られた



- F,G との間には有意差は見られなかった

#### <主な自由アンケートの回答>

- 元々の映像が速いため,C 以外の動画は周辺の動きが煩わしい(5 人)
- フレームレートとの相関がありそう(2 人)
- 実験 5.2 と比較して,速度の変化は小さい気がする(2 人)
- 分割数が少ないと遅いと感じるけど実験 5.2 と比較すると違和感が大きい(両実験を行った 5 人のうち 3 人)
- 分割数が多いと違和感はそのままでない
- 特に左側の情報量の変化が大きい(2 人)
- 木が特に速いと感じるけどなんでだろう(2 人)

#### 5.3.4 考察

実験 5.2 と同様,6 分割の動画は A との有意差は見られなかった,実験 5.3 においても周辺の動きが煩わしいという回答(5 人)や,実験 5.2 よりも違和感が大きい(両実験を行った 5 人のうち 3 人)と回答する被験者がいたことから,6 分割はある程度の速度で移動しているときには効果が薄いといえる。

また,実験 5.3 では B 条件の動画が A よりも有意に遅いと判定され,図 5-5 より B と E が同程度,F と G が同程度であり,心理尺度の位置のばらけがこれまでに最も少ないことがわかるが,この理由として移動速度が速く,よっぽどの違いがないと違いを判別することが難しかったからと考えられる。

また,B だけでなく,E も A よりも有意に遅いと判定された,この 2 条件は実験 5.1 では A との間に有意差が見られなかったことから,移動速度が速い方が低フレームレートにより抑制される速度情報が大きい可能性がある。

### 5.4 カーブ走行動画(km/h)を用いた本手法の評価

#### 5.4.1 目的

提案手法が 35~45km/h でカーブを走行中のドライブ動画視聴時における速度感覚に与える影響を検証するための評価実験を行う。

### 5.4.2 実験内容

本実験はシェッフェの一対比較法(浦の変法)に基づいて行われた。4 章で述べた様に、被験者はディスプレイの前に座る。ディスプレイ中心の目印を見ながら再生される 7 パターンの動画のうち、被験者はランダムに 2 つの動画を順番に提示され、後に見た方の速度感を-2(かなり速くなった), -1(やや速くなった), 0(変わらなかった), +1(やや遅くなった), +2(かなり遅くなった)の 5 段階で評価させた。視聴回数は 7 パターンの動画において順序効果を考慮し、かつ 1 試行あたり 2 つの動画を再生するため、 $42 \times 2 = 84$  回動画を視聴し、速度感の比較を  $7 \times 6 = 42$  試行行う。被験者は 20 代の成人男性 8 名であり、動画の再生時間は全て 7.80 秒で統一した。実験後には、自由アンケートを行った。視聴するドライブ動画のキャプチャを図 5-6 に示す。



図 5-6:実験 5.4 における視聴動画[42]

### 5.4.3 実験結果

シェッフェの一対比較法(浦の変法)により得られた各条件における速度感覚の評価値を図 5.7, 表 5.4 に示す。図 5.4 中の数直線は各動画を視聴して得られた心理尺度を表している。数値が大きくなるにつれて、被験者がより速いと感じたことを表す。実際に得られた回答を点数化したデータは表 A-10 に、分散分析表は表 A-11 に示す。また、全ての組み合わせにおける有意差の有無は表 A-12 に示す。

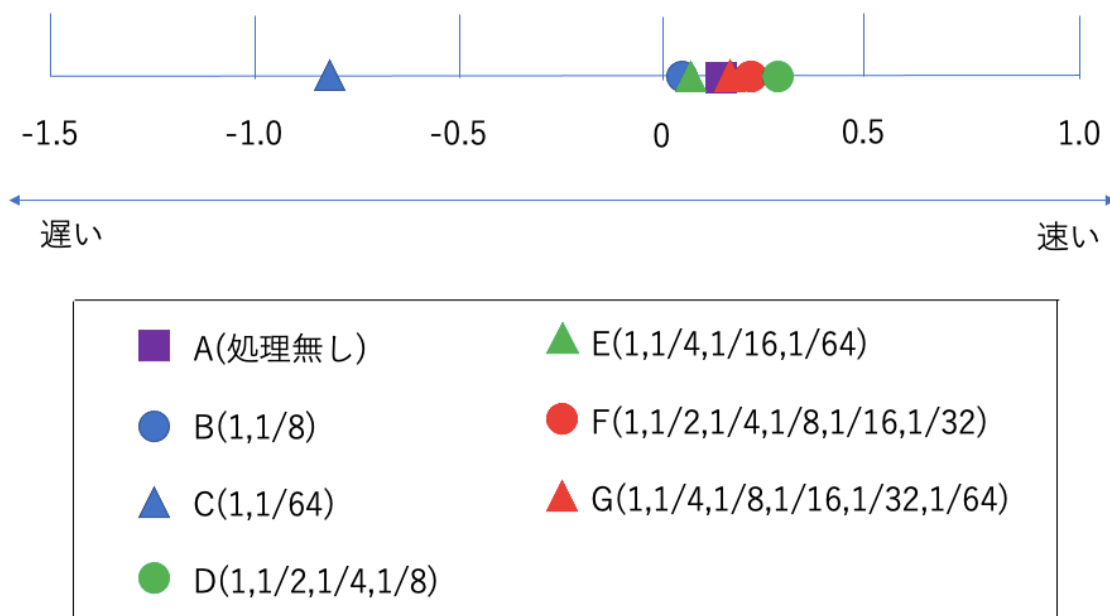


図 5-7:実験 5.4 の結果

表 5-4:実験 5.4 における速度感覚の評価

視聴動画	速度感覚の評価
A(処理なし)	0.161
B(1,1/8)	-0.063
C(1,1/64)	-0.830
D(1,1/2,1/4,1/8)	0.268
E(1,1/4,1/16,1/64)	-0.080
F(1,1/2,1/4,1/8,1/16,1/32)	0.214
G(1,1/4,1/8,1/16,1/32,1/64)	0.170

基準となる A との有差が確認された条件と,自由アンケートの結果は以下の通りである. 自由アンケートのそれぞれの回答に対し人数が書いていないものは,回答者は 1 人であることを示す.

<A との有意差の有無>

- B,C,D において,1%水準で有意差が見られた
- E,F,G との間には有意差は見られなかった

<主な自由アンケートの回答>

- 前方の建物やフェンスが横切るように見えて行く際に速度感の手がかりになっている気がする(7 人)
- 全く変化を感じない(7 人)
- 前を向いていると建物やフェンスが移動しているので,進行方向が見たい(5 人)
- 境界線は気づきにくいけど,対向車が途中で消えることがあり,その時は境界付近で違和感がある(4 人)
- 分割数が 4 以上では流動してくように感じるけど,速度感の変化はそこまで感じない(3 人)
- C 条件の動画はどちらかといえば遅いと判断した

#### 5.4.4 考察

実験 5.4 と,最も概算された走行速度に近い実験 5.1 とで比較する.実験 5.1 と比較して,明らかに心理評価値は比較群ごとの間隔が狭くなっていることがわかる.この理由として,カーブ走行条件では,オプティカルフローが左右非対象であるのに対し,今回の動画で分割した領域の配置を左右対称であったことが挙げられ,これにより被験者に違和感を与えさせてしまったと考えられる.また,カーブを曲がるとき,被験者が注視している前方ではフェンスや建物が横切っていく映像が見えており,これによって速度がある程度推測する手がかりとなって速度の変化を感じにくくなっているのではないかと考えられる.自由アンケートでも,進行方向ではなくディスプレイ中心を見ていることに違和感を感じた被験者や,中心視野ではっきりと見えているフェンスや建物が意識に残ると回答した被験者が過半数を占めた.

## 第6章 結論

### 6.1 結論

本研究では、一人称動画を様々な速度感で楽しむことができるよう、速度感覚を低減可能なシステムの実現を目的とし、動画の外側ほど低いフレームレートで再生させる手法を提案した。その結果、全ての分割数で、最外領域のフレームレートを小さくするほど評価値を低くすることに成功した。全体として、最外領域のフレームレートが低く、分割数が少ないほど速度感覚を低減できる可能性が示唆されたが、分割数が多いと速いと判定されやすいことがわかった。我々はこの理由を周辺視野でフレームが更新される回数が増加し、速度感覚を刺激しているからだと考えている。C条件においてはどの実験でも有意に遅く知覚されていることが示され、B、Eに関しても車の移動速度が高速道路における走行速度に近い場合は速度感覚を低減可能であることがわかった。しかし、自由アンケートにおいてC条件で1/64倍のフレームレートで再生される領域が画面の周辺半分を占めるため、通常よりも遅いとは感じても移動速度が速いと領域同士が広範囲で不連続になる瞬間が多発し、違和感を感じさせてしまうようであった。したがって、フレームレート倍率を1/64よりも上げ、どの範囲なら遅く感じさせることが可能かを突き詰めていく必要があるようである。

実験5.4(カーブ条件)において、提案システムは実験5.1~5.3のどれと比較しても速度感覚に与える影響は少なかった。また、風景や周囲の物体の有無速度感覚に影響を与えている可能性があることが示唆された。

そして、領域を隔てる境界線について、移動速度や背景によっては不連続さが際立ってしまい、違和感を与えることがあった。これに関しては、境界線を目立ちにくくするフィルターを導入するなどの解決策が考えられる。

### 6.2 今後の研究

今後は、より定量的な議論ができるよう、分割数やフレームレート、分割の仕方或使用ディスプレイのサイズなどの条件をより様々な組み合わせで設定し、速度感覚の変化について調査するつもりである。例えば、今回は最も低い倍率として1/64を用いたが、これよりも高い倍率でも遅さを知覚させることができる可能性がある。

また、本稿では、あくまで知覚の変化を調査しただけに過ぎず、動画を読み込んで動的に本稿の実験で使ったような動画を出力できるシステム作成があることが望ましい。遅延などの影響も含め動画サービスと組み合わせられるかについても検討する。

さらに,カーブ走行における知覚変化を大きくすることも検討したい.実験 5.4 で得られた自由アンケートを踏まえ,例えば視点と前方の映像との不整合がないよう,領域の配置を進行方向に一致するように整える動的なシステムについて実装をし,ユーザビリティと知覚変化に関して調査を進める.

## 謝辞

本研究および大学院修士課程においてご指導いただいた小川剛史先生に深く感謝いたします。研究に関して方針が見えないでいることが多かった私に、優しく数多くのアドバイスを下さりました。また、豊富な知識から数々の知見をいただくことも多く、研究の進め方などについて一からご指導いただき、本当にお世話になりました。休学をする事になった際はとても心配してくださり、それが私の心の支えになりました。こうして最後まで研究活動を続けることができたことに、先生には感謝しきれません。

また、ときに本研究にもご協力いただいた CNL(Computer Network Laboratory)関係者の皆様にも、深く感謝を申し上げます。特に小川研究室のメンバーとは、研究の話だけでなく、就職や趣味の話などをし合い、ともに笑いあったことは貴重な思い出です。

最後に、大学院進学まで学費や日常の生活においてまで、私を支えてくれた家族に心から感謝いたします。修士課程の間で様々なことを経験し、大きく成長することができたのは家族のおかげです。これまで学んだ全てを糧にし、これからの社会人としての生活に励んでいきたいと思います。

## 参考文献

- [1] <https://www.youtube.com/>
- [2] ソニー株式会社：プレスリリース,  
<https://www.sony.jp/CorporateCruise/Press/202002/20-0207/>(最終閲覧日 2022 年 1 月 26 日)
- [3] <https://www.nicovideo.jp>
- [4] 消費者向け動画デバイス市場の進化:アクションカメラと 360 度カメラはいかにして一般ユーザーの関心をつかんだか,  
[http://archive.ceatec.com/report\\_analysis/ja/ra\\_180831\\_2.html](http://archive.ceatec.com/report_analysis/ja/ra_180831_2.html) (最終閲覧日 2022 年 1 月 26 日)
- [5] 舘暲, 佐藤誠, 廣瀬通孝, “バーチャルリアリティ学”, 日本バーチャルリアリティ学会, コロナ社出版, 2011.
- [6] 福田忠彦, 運動知覚における中心視と周辺視の機能差, テレビジョン学会誌, Vol.33, No.6, pp.479-484, 1979.
- [7] 福田忠彦, “Cff で表される中心視と周辺視の感度差”, テレビジョン学会誌, Vol.32, No.3, pp.210-216, 1978.
- [8] A.S.Fernndes, S.K.Feiner, “Combating VR Sickness through Subtle Dynamic Fields of View Modification”, IEEE Symposium on 3D User Interfaces, 2016.
- [9] 橘卓見, 松井啓司, 佐藤未知, 福嶋政期, 梶本浩之. “PC 作業時の集中力向上のための作業用壁紙”, IPSJ Interction2012, pp.843-849, 2012.
- [10] 松井啓司, 中村聡史, 鈴木智絵, 山中祥太, “周辺視野への視覚刺激提示によるプログレスバーの主観的な待機時間短絡手法”, 情報処理学会研究報告(HCI), Vol.2019-HCI-181, No.25, pp.1-6, 2019.
- [11] B.R.Jones, H.Benko, E.Ofek, A.D.Wilson, “”IllumiRoom:Peripheral Projected Illusions for Interactive Experiences”, Proceedings of the 2013 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.869-878, 2013.
- [12] 福地翼, 松井啓司, 中村聡史, “周辺視への錯視図形提示によるコンテンツ視聴手法の実現”, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.2, pp.681-689, 2018
- [13] 松井啓司, 中村聡史, 大島遼, “周辺視へのエフェクト提示による動画の視聴体験拡張”, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム(EC2015), pp.543-550, 2015.
- [14] J.J.Rieser, H.L.Pick, D.H.Ashmand, and A.E.Garing, “Calibration of human locomotion and models of perceptual-motor organization”, Journal of Experimental Psychology:



- Human Perception and Performance, Vol.21, No.3, p.480, 1995.
- [15] B.J. Mohler, W.B. Thompson, S.H. Creem-Regehr, P. Willemsen, H.L. Pick, Jr., and J.J. Rieser, "Calibration of locomotion resulting from visual motion in a treadmill-based virtual environment", *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, Vol.4, No.1, p.4, 2007.
  - [16] G. Mather, "Two-stroke: A new illusion of visual motion based on the time course of neural responses in the human visual system", *Vision Research*, Vol.46, No.13, pp.2015-2018, 2006.
  - [17] B.J. Mother, W.B. Thompson, S.H. Creem-Regehr, and H.L. Pick, Jr., "Visual Motion Influences Locomotion in a Treadmill Virtual Environment", *Proceedings of the 1st Symposium on Applied perception in graphics and visualization (APGV'04)*, pp.19-22, 2004.
  - [18] T.Q. Tran, T.D.N. Tran, T.D. Nguyen, H. Regenbrecht, M.T. Tran, "Can We Perceive Changes in Our Moving Speed? A Comparison between Directly and Indirectly Powering the Locomotion in Virtual Environments", *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST'18)*, p.36, 2018. No.493, pp.223-228, 2016.
  - [19] G. Burnett, A. Hazzard, E. Crundall, and D. Rundall, "Altering Speed Perception through the Subliminal Adaptation of Music within a Vehicle", *Proceedings of 9th ACM International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive vehicular Applications (AutomotiveUI'17)*, New York, NY, USA: ACM, pp.164-172, 2017.
  - [20] 畑四郎, 津村俊弘, "人間の制御動作における体感情報に関する一実験的考察", *人間工学*, Vol.9, No.2, pp.49-57, 1973.
  - [21] 小西晃広, 橋口哲志, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行, "没入型映像空間での周辺視刺激で生じるリニアベクション効果の分析", *IEICE technical report, 信学技法*, Vol.115,
  - [22] E. Kruijff, A. Marquardt, C. Trepkowski, R.W. Lindeman, A. Hinkenjan, J. Maiero, and B.E. Riecke, "On Your Feet!, Enhancing Vection in Leaning-Based Interfaces through Multisensory Stimuli", *Proceedings of the 2016 Symposium on Spatial User Interaction (SUI'16)*, pp.149-158, 2016.
  - [23] B.E. Riecke, "Compelling Self-Motion Through Virtual Environments Without Actual Self-Motion-Using-Motion Illusions('Vection') to Improve VR User Experience", *Citeseer*, 2010.
  - [24] J. Dichgans and T. Brandt, "Visual-vestibular interaction: Effects on self-motion perception and postural control", In *Perception*, pp.755-804, Springer, 1978.

- [25] A.Berthoz, B.Pavard, and L.R.Young, "Perception of linear horizontal self-motion induced by peripheral vision (linear vection) basic characteristics and visual-vestibular interactions", *Experimental brain research*, Vol.23, No.5, pp.471-489, 1975.
- [26] W.H.Warren, Jr., "Self-motion: Visual Perception and Visual Control", *Perception of space and motion*, ed W.Epstein & S.Rogers, Academic Press, pp.263-325, 1995.
- [27] N.A.Webb and M.J.Griffin, "Eye Movement, Vection, and Motion Sickness with Foveal and Peripheral Vision", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol.74, No.6, pp.622-625, 2003.
- [28] J.R.Lishman and D.N.Lee, "The autonomy of visual kinaesthesia", *Perception*, Vol.2, No.3, pp.287-294, 1973.
- [29] J.A.Crowell and M.S.Banks, "Perceiving heading with different retinal regions and types of optic flow", *Perception & psychophysics*, Vol.53, No.3, pp.325-337, 1993.
- [30] M.Lappe, F.Bremmer, and A.V.Van den Berg, "Perception of self-motion from visual flow", *Trends in cognitive science*, Vol.3, No.9, pp.329-336, 1999.
- [31] J.Paolhous, A-Marie.Ferrandez, M.Flückiger, and B.Baum-berger, "Unintentional modulations of human gait by optical flow", *Behavioral brain Research*, Vol.38, No.3, pp.275-281, 1990.
- [32] W.H.Warren and K.J.Kurtz, "The role of central and peripheral vision in perceiving the direction of self-motion", *Perception & psychophysics*, Vol.51, No.5, pp.443-454, 1992.
- [33] T.Tanikawa, Y.Muroya, T.Narumi, and M.Hirose, "Reflex-Based Navigation by Inducing Self-motion Perception with Head-Mounted Vection Display", *International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2012)*, *Advances in Computer Entertainment*, pp.398-405, 2012.
- [34] U.Gruenefeld, T C.Stratmann, J.Jung, H.Lee, J.Choi, and A.Nanda, "Guiding Smombies: Augmenting Peripheral Vision with Low-Cost Glasses to Shift the Attention of Smartphones Users", *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, 2018.
- [35] 渡邊紀文, 大森隆司, "周辺視ディスプレイを用いた左右方向のオプティカルフロー提示による歩行者の誘導", 第 29 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.536-541, 2013.
- [36] A.Ishii, I.Suzuki, S.Sakamoto, K.Kanai, K.Takazawa, H.Doi, and Y.Ochiai, "Graphical Manipulation of Human's Walking Direction with Visual Illusion", *SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies*, ACM, p.8, 2016.

- [37]岡野裕,雑賀慶彦,橋本悠希,野嶋琢也,梶本裕之,”速度感覚増強のための周辺視野への刺激提示手法の検討”,情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol.2008, No.11, pp.145-150, 2008.
- [38]G.Bruder, P.Wieland, B.Botle, M.Lappe, and F.Steinicke, “Going with the flow: Modifying self-motion perception with computer-mediated optic flow”, Proceedings of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.67-74, 2013.
- [39]浅井一輝,小川剛史,”移動速度感覚の制御のための歩行動作を考慮した視覚刺激提示”,IEICE technical report: 信学技報 vol.116,No.494,pp.177-182,2017.
- [40]中嶋慶輔,福地健太郎,”周辺視野の動的知覚特性にもとづくスポーツ映像の速度感増強システム”, IPSJ Technical Report, Vol.2013-HCI-152, No.8, pp.1-7, 2013
- [41]<https://www.youtube.com/watch?v=CiWnWbLsqAQ&t=5942s> (最終閲覧日 2021 年 1 月 20 日)
- [42]<https://www.youtube.com/watch?v=cvn1eGlJgB4&t=2012s> (最終閲覧日 2021 年 1 月 20 日)
- [43]区画線の設置様式について  
<https://www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/pdf/19741226kukakusenn.pdf> (最終閲覧日 2021 年 12 月 15 日)
- [44]KiCTEC:路面表示なんでもコーナー, <https://www.kictec.co.jp/varieties-road-mark/> (最終閲覧日 2021 年 12 月 15 日)
- [45]吉村浩一,”運動現象のタキソノミー”,ナカニシヤ出版.2006
- [46]M.Wertheimer,”Experimentale Studien über das Sehen von Bewegung”,Zeitschrift für Psychologie,61,1912.
- [47]森永四郎,野口薫,横井清和,”仮現運動と実際運動の関係-現象的速さを中心に-”,心理学研究,Vol.36,pp.244-248,1965.
- [48]山野井陸,井ノ上寛人,鉄谷信二,”跳躍性眼球運動および周辺視が仮現運動の知覚に与える影響に関する研究”,FIT2016,I-020,pp.173-174,2016.
- [49]柴田光,山野井 陸,井ノ上 寛人,鉄谷 信二,”中心視と周辺視における $\beta$ 運動の速度変化量に関する研究”,信学会総合大会 2017,D-11-35,pp.35,2017.

## 発表文献

- 堀越尉央,小川剛史,”一人称動画における速度感覚の低減を目的とした動画提示手法の提案と評価”,第74回CS研究会,2022年2月28日発表予定

# 付録

表 A-1:実験 5.1 で得られた回答(被験者 8 名分の合計)

後 前	A	B	C	D	E	F	G	
A	-	2	-9	2	-2	6	0	A(処理無し)
B	0	-	-8	3	0	3	7	B(1,1/8)
C	8	11	-	15	11	9	10	C(1,1/64)
D	-6	-8	-13	-	-3	1	0	D(1,1/2,1/4,1/8)
E	-3	-1	-7	0	-	1	0	E(1,1/4,1/16,1/64)
F	-7	-10	-13	-2	-10	-	-5	F(1,1/2,1/4,1/8,1/16,1/32)
G	-4	-4	-14	-1	-8	-1	-	G(1,1/4,1/8,1/16,1/32,1/64)

表 A-2:実験 5.1 で得られた分散分析表

要因	平方和(s)	自由度(f)	分散(V)	F値	p値
主効果	224.482143	6	37.4136905	88.4060039	2.26132E-60
主効果×個人	42.5178571	42	1.01232993	2.39206672	1.61719E-05
組み合わせ効果	7.01785714	15	0.46785714	1.10551458	0.351202379
順序効果	2.89285714	1	2.89285714	6.83562451	0.009447273
順序効果×個人	4.94047619	7	0.70578231	1.66771556	0.11706566
誤差	112.14881	265	0.42320305		
合計	394	336			

表 A-3:実験 5.1 で確認された有意差

	A	B	C	D	E	F	G	
A		ns	**	**	ns	**	**	A(処理無し)
B	ns		**	**	ns	**	**	B(1,1/8)
C	**	**		**	**	**	**	C(1,1/64)
D	**	**	**		**	ns	**	D(1,1/2,1/4,1/8)
E	ns	ns	**	**		**	ns	E(1,1/4,1/16,1/64)
F	**	**	**	ns	**		**	F(1,1/2,1/4,1/8,1/16,1/32)
G	**	**	**	**	ns	**		G(1,1/4,1/8,1/16,1/32,1/64)

ns:有意差無し  
\*:p<.05  
\*\*:p<.01

表 A-4:実験 5.2 で得られた回答(被験者 8 名分の合計)

後	前	A	B	C	D	E	F	G	
A	-	-4	-12	0	-6	-2	-1		A(処理無し)
B	-2	-	-12	2	-2	-3	-4		B(1,1/8)
C	12	12	-	12	7	12	9		C(1,1/64)
D	-5	-6	-16	-	-7	-5	-8		D(1,1/2,1/4,1/8)
E	5	-3	-11	5	-	5	-2		E(1,1/4,1/16,1/64)
F	-2	0	-13	-1	-5	-	-5		F(1,1/2,1/4,1/8,1/16,1/32)
G	0	2	-12	0	-5	0	-		G(1,1/4,1/8,1/16,1/32,1/64)

表 A-5:実験 5.2 で得られた分散分析表

要因	平方和(s)	自由度(f)	分散(V)	F値	p値
主効果	239.214286	6	39.8690477	90.5158217	2.83457E-61
主効果×個人	73.6428571	42	1.75340136	3.98079649	2.70715E-12
組み合わせ効果	7.34821429	15	0.48988095	1.11219052	0.345116659
順序効果	15.0029762	1	15.0029762	34.0616794	1.55447E-08
順序効果×個人	1.06845238	7	0.15263605	0.34653393	0.931736565
誤差	116.723214	265	0.44046496		
合計	453	336			

表 A-6:実験 5.2 で確認された有意差

	A	B	C	D	E	F	G	
A		ns	**	*	**	ns	ns	A(処理無し)
B	ns		**	**	**	ns	ns	B(1,1/8)
C	**	**		**	**	**	**	C(1,1/64)
D	*	**	**		**	*	**	D(1,1/2,1/4,1/8)
E	**	**	**	**		**	ns	E(1,1/4,1/16,1/64)
F	ns	ns	**	*	**		ns	F(1,1/2,1/4,1/8,1/16,1/32)
G	ns	ns	**	**	ns	ns		G(1,1/4,1/8,1/16,1/32,1/64)

ns:有意差無し  
\*: $p<.05$   
\*\*: $p<.01$

表 A-7:実験 5.3 で得られた回答(被験者 8 名分の合計)

後	前	A	B	C	D	E	F	G	
A	-	-1	-12	0	-5	-3	-1	-1	A(処理無し)
B	1	-	-12	5	-1	1	4	4	B(1,1/8)
C	12	11	-	12	11	11	11	11	C(1,1/64)
D	-5	-10	-16	-	-10	-5	-9	-9	D(1,1/2,1/4,1/8)
E	5	-2	-11	6	-	1	-2	-2	E(1,1/4,1/16,1/64)
F	-3	-5	-13	0	-8	-	-3	-3	F(1,1/2,1/4,1/8,1/16,1/32)
G	-2	-8	-13	1	-6	-2	-	-	G(1,1/4,1/8,1/16,1/32,1/64)

表 A-8:実験 5.3 で得られた分散分析表

要因	平方和(s)	自由度(f)	分散(V)	F値	p値
主効果	274.25	6	45.7083333	142.542379	5.83948E-80
主効果×個人	54.3214286	42	1.29336735	4.0333927	1.61133E-12
組み合わせ効果	9.5	15	0.63333333	1.97506304	0.017252605
順序効果	17.1904762	1	17.1904762	53.608854	2.93516E-12
順序効果×個人	3.76190476	7	0.53741497	1.67593964	0.114988064
誤差	84.9761905	265	0.32066487		
合計	444	336			

表 A-9:実験 5.3 で確認された有意差

	A	B	C	D	E	F	G
A		**	**	**	**	ns	ns
B	**		**	**	ns	**	**
C	**	**		**	**	**	**
D	**	**	**		**	**	**
E	**	ns	**	**		**	**
F	ns	**	**	**	**		ns
G	ns	**	**	**	**	ns	

ns:有意差無し  
\*:p<.05  
\*\*:p<.01

A(処理無し)

B(1,1/8)

C(1,1/64)

D(1,1/2,1/4,1/8)

E(1,1/4,1/16,1/64)

F(1,1/2,1/4,1/8,1/16,1/32)

G(1,1/4,1/8,1/16,1/32,1/64)

表 A-10:実験 5.4 で得られた回答(被験者 8 名分の合計)

後	前	A	B	C	D	E	F	G
A		-	-4	-9	1	-2	0	-1
B		0	-	-9	5	2	2	1
C		7	7	-	10	7	9	6
D		-4	-1	-4	-	-1	0	0
E		1	-1	-8	4	-	-2	0
F		0	-5	-8	0	-1	-	-1
G		-1	-2	-9	0	-2	0	-

A(処理無し)

B(1,1/8)

C(1,1/64)

D(1,1/2,1/4,1/8)

E(1,1/4,1/16,1/64)

F(1,1/2,1/4,1/8,1/16,1/32)

G(1,1/4,1/8,1/16,1/32,1/64)

表 A-11:実験 5.4 で得られた分散分析表

要因	平方和(s)	自由度(f)	分散(V)	F値	p値
主効果	150.75	6	25.125	120.880207	6.71609E-73
主効果×個人	14.8928571	42	0.35459184	1.70599541	0.006678096
組み合わせ効果	4.5625	15	0.30416667	1.46339223	0.118724315
順序効果	3.24107143	1	3.24107143	15.593289	0.000100711
順序効果×個人	0.47321429	7	0.06760204	0.32524373	0.942178223
誤差	55.0803571	265	0.2078504		
合計	229	336			



表 A-12:実験 5.4 で確認された有意差

	A	B	C	D	E	F	G
A		**	**	**	ns	ns	ns
B	**		**	**	**	**	**
C	**	**		**	**	**	**
D	**	**	**		**	*	*
E	ns	**	**	**		ns	ns
F	ns	**	**	*	ns		ns
G	ns	**	**	*	ns	ns	

ns:有意差無し  
 \*:p<.05  
 \*\*:p<.01

A(処理無し)

B(1,1/8)

C(1,1/64)

D(1,1/2,1/4,1/8)

E(1,1/4,1/16,1/64)

F(1,1/2,1/4,1/8,1/16,1/32)

G(1,1/4,1/8,1/16,1/32,1/64)