

映像視聴方法の違いが注視に与える
影響の分析

高比良 英朗

要旨

家庭における 4K・8K テレビ，劇場における IMAX[®]，4DX[®] / MX4D[®]，SCREEN X などの最新鋭の設備を備えたシアター，Netflix や Hulu などのオンライン映像ストリーミングサービスの登場など，人々が最新の映像表示技術，通信技術，放送技術などを用いた設備や機器で映像を視聴する機会が増えつつある．従来のテレビでの視聴が，技術の進歩とともに大画面・サラウンド音響を使用した迫力感がある映像の近距離・様々な方向からの視聴へ移り変わりつつある．また，倍速再生や飛ばし再生などの多様な再生方法も映像視聴方法の 1 つとして用いられつつある．

本研究では，最新の映像表示技術を用いた大画面・広画角，サラウンド音響環境での臨場感がある映像視聴を想定し，映像視聴方法の違いが，人の映像理解に与える影響を明らかにする．最新の映像表示技術を用いた映像視聴では，従来のテレビでの視聴と比べ，高精細な動画像及び立体音響などが視聴者の視聴に与える影響が大きいことが推測される．映像視聴においては，映像の視聴方法を表す視聴要因と，映像の再生方法を表す再生要因が考えられる．前者には，室内の照度，表示システム，音響システム，視聴位置があり，後者には，早送り／早戻し，再生速度，飛ばし再生がある．映像視聴時の人の視線の動きは，視聴者の視空間的注意を反映しているとされている．このことから，本論文では，視線の動き（注視）に着目し，視線の動きに違いが表れる可能性がある視聴位置，音響システム，再生速度について検証する．映像視聴は，時空間の視聴覚マルチモーダル体験であることから，その視覚（視聴位置）・聴覚（音響システム）・時間（再生速度）に対する分析を行なう．

人による映像理解とは，ユーザが映像を視聴した際に映像コンテンツの意味を把握することである．この映像理解には，映像の視聴方法，映像内容自体の影響，視聴者の意識が複雑に関係している．その中から，本論文では視聴方法について，基礎検討を行なう．一般に，映像制作者は，視聴者の意識を制御するように映像を制作するが，実際に万人の意識を完全に制御することは難しい．また，既存の映像コンテンツを改変することはできない．一方で，映像理解を深めやすい最適な視聴方法の構築は制御が容易であることから，

視聴方法について検証することにした。前述したように、視線の動きは、視聴者の視空間的注意を反映しているとされている。視線の動きを分析することで、視聴方法に起因する視聴者の注視の違いを把握することができることから、映像理解のために必要な要素への注視に関する基礎的な知見を得ることができると考えられる。そこで、本研究では様々な視聴方法に対するユーザの視聴体験の評価を、視線計測実験から分析する。映像視聴時の視線分析は様々なものが行なわれているが、映像内容や映像品質など映像パラメータの違いを検証したものになっている。その際の映像視聴方法は、ITU 勧告に従ったものが多いが、実際の映像視聴時には、この勧告通りに視聴することは稀である。そこで、本研究において、視聴方法の違いに着目する。具体的な視聴方法として、視聴位置（視聴距離、視聴方向）の違い、音響システム（モノラル、ステレオ、サラウンド）の違い、再生速度（0.75～3.0 倍速）の違いについて実験をして検証する。また、大画面ディスプレイでの近距離かつ広画角の映像視聴に適応した視線計測システムがないことから、システムの開発を行なった。実験結果の分析により、各映像視聴方法における注視の特徴を把握し、その特徴を用いることで、映像理解に対する基礎的な知見が得られ、視聴方法に適した視聴環境の構築や映像制作者へのフィードバックへの応用が期待される。

本研究では、視聴方法の違いが人の映像理解に与える影響を明らかにするための基礎検討として、生体反応（視線）の違いに着目する。多様化した映像視聴方法に対する、ユーザの映像視聴の評価を、様々な視聴方法での視線計測実験から分析することを目的とする。映像理解には、映像の視聴方法、映像内容自体の影響、視聴者の意識などが複雑に関係している。その中から視聴方法について、視線計測実験から基礎検討を行なう。映像制作者は既存の映像コンテンツや視聴者の意識を制御することはできない。一方で、映像理解を深めやすい最適な視聴環境の構築は制御可能であることから、視聴方法に着目する。

本論文は全6章からなり、第1章では、本研究の背景及び目的、位置付け、本論文の構成について述べる。

第2章では、視線計測システムの開発として、眼球運動と頭部運動の同時計測装置を提案する。近距離かつ広画角の映像視聴時の視線計測を実現するシステムである。人の眼球運動の無理のない可動範囲は、水平方向 ± 15 度以内、垂直上方向 8 度以内、垂直下方向 12 度以内であり、近距離かつ広画角の映像視聴時にはこの範囲を超える。実際にこの範囲外に視線を向ける際には眼球運動に加え、頭部運動を生じさせている。そこで頭部運動を加味した視線計測装置として、本システムの開発を行ない、水平方向 ± 60 度、垂直方向 ± 45 度の視線計測を実現する。また、開発した視線計測システムの精度評価実験を行

ない、装置の有用性を確認する。

第3章では、第2章で開発した視線計測システムを用い、視聴位置（視聴距離、視聴方向）の違いを検証する。一般的に家庭でのテレビ視聴や劇場での映画視聴では、様々な方向から視聴することが多い。この場合には、注視位置に変化が見られる可能性が考えられるが、視聴位置をパラメータとしてユーザの注視位置を測定した研究は行なわれていない。そこで、視聴位置（視聴距離、視聴方向）を変化させた視線計測実験を行ない、注視に与える影響を注視点分析から明らかにする。

第4章では、第2章で開発した視線計測システムを用い、音響システム（モノラル、ステレオ、サラウンド）の違いを検証する。サラウンド音響システムでは、リアスピーカやバックスピーカなどスピーカの数を追加することで、臨場感がある音響空間を構築することが可能であり、サラウンド音響でその音響空間から発生する音を聴くことが可能である。映画ではサラウンド音響を収録し、劇場や家庭内でサラウンド音響環境を構築し、視聴する機会も増えつつある。そこで、サラウンド音響環境での視線計測実験を行ない、注視に与える影響を注視点分析から明らかにする。

第5章では、再生速度（0.75～3.0 倍速）の違いを検証する。オンライン映像ストリーミングサービスの登場により、パソコンやスマートフォンなどの機器で大量の映像を視聴すること人が増えてきている。その映像視聴の際の時間短縮手法として、再生速度を早める倍速視聴を行なう人が増えつつある。そこで、様々な再生速度での視線計測実験を行ない、注視に与える影響を注視点分析から明らかにする。

以上の第3章から第5章で各視聴方法について、視線計測実験を行ない、注視に与える影響を注視点分析から明らかにした。具体的には、視聴位置の変化に対して、平均注視点が変わること、ステレオおよびサラウンドの音響条件に対して、モノラルと比較して注視領域面積が広がること、再生速度の変化に対して、速くなるに従って注視点の分布が狭まり、遅くなると注視点の分布が広がることを示し、映像理解に対する基礎的な知見を得ることができた。これらにより、映像視聴方法が人の映像理解に与える影響を明らかにした。

第6章では、本論文の総括として、各章で行なった視聴要因の実験結果から得られた映像理解に対する基礎的な知見についてまとめるとともに、残された課題と展望について述べる。これらの知見の活用から、視聴方法に適した最適な視聴環境の構築や映像制作者へのフィードバックへの応用が期待される。

目次

要旨	i
第1章 序論	1
1.1 研究背景	1
1.2 映像視聴時の生体反応	3
1.2.1 生体反応の計測	3
1.2.2 視線の計測	4
1.3 本研究の位置付け	5
1.4 本論文の構成	9
第2章 広範囲の視線計測システムの開発	13
2.1 はじめに	13
2.2 従来の視線計測システム	14
2.3 視線計測システムの概要	15
2.3.1 システムの構成	15
2.3.2 視線の表示方法	16
2.3.3 視線の算出方法	17
2.4 精度評価実験	17
2.4.1 実験手法	18
2.4.2 実験結果	20
2.5 考察	21
2.6 まとめ	26
第3章 視聴位置の違いに対する注視点の分析	27

3.1	はじめに	27
3.2	映像視聴における視聴位置の検証の有用性	28
3.3	実験方法	30
3.3.1	実験映像	30
3.3.2	視聴位置	32
3.3.3	計測方法	32
3.3.4	注視点分析手法	32
3.4	視聴距離 3H における予備実験	33
3.4.1	実験方法	34
3.4.2	実験結果	34
3.5	視聴距離 0.75H・1.5H における実験	38
3.5.1	実験方法	38
3.5.2	実験結果	38
3.6	考察	43
3.6.1	平均注視点	43
3.6.2	注視割合	45
3.6.3	視聴方向	46
3.7	まとめ	46
第 4 章	音響システムの違いに対する注視点の分析	49
4.1	はじめに	49
4.2	音響刺激と視覚の関係性	50
4.3	実験方法	51
4.3.1	実験目的	51
4.3.2	実験環境	52
4.3.3	映像・音響設定	53
4.3.4	実験参加者	54
4.3.5	視線計測方法	54
4.3.6	映像視聴方法	55
4.3.7	視線分析手法	55
4.4	実験結果	56

4.4.1	注視点分布	56
4.4.2	標準偏差と注視領域面積	56
4.4.3	2 要因分散分析	56
4.4.4	多重比較	61
4.5	考察	65
4.5.1	水平方向の標準偏差	65
4.5.2	垂直方向の標準偏差	66
4.5.3	注視領域面積	67
4.6	まとめ	68
第 5 章	再生速度の違いに対する注視点の分析	69
5.1	はじめに	69
5.2	実験方法	71
5.2.1	実験目的	71
5.2.2	映像設定	72
5.2.3	実験環境	73
5.2.4	実験参加者	74
5.2.5	視線計測方法	74
5.2.6	映像視聴方法	75
5.2.7	視線分析手法	75
5.3	実験結果	75
5.3.1	注視点の分布	75
5.3.2	注視点の標準偏差 (水平方向・垂直方向)	77
5.3.3	1 要因分散分析	77
5.3.4	多重比較	77
5.4	考察	77
5.4.1	水平方向の標準偏差	79
5.4.2	垂直方向の標準偏差	81
5.4.3	再生速度の影響	82
5.5	まとめ	82
第 6 章	むすび	83

6.1	総括	83
6.2	今後の課題と展望	85
6.2.1	視聴位置の違いに関する課題	85
6.2.2	音響システムの違いに関する課題	86
6.2.3	再生速度の違いに関する課題	86
6.2.4	今後の展望	86
	謝辞	89
	参考文献	93
	研究業績	103

表目次

2.1	視線計測装置の仕様.	16
2.2	視線の算出のための視線, 眼球, 頭部運動の変数の定義.	18
2.3	注視位置の平均・標準偏差・誤差.	24
3.1	映像内容.	30
3.2	ディスプレイ条件.	31
3.3	水平方向における映像種類 × 視聴方向の 2 要因分散分析結果 (**: p<0.01).	37
3.4	垂直方向における映像種類 × 視聴方向の 2 要因分散分析結果 (**: p<0.01).	37
3.5	水平方向における単純主効果の検定, 多重比較の結果 (**: p<0.01). . .	37
3.6	垂直方向における単純主効果の検定, 多重比較の結果 (**: p<0.01). . .	37
3.7	水平方向における映像種類 × 視聴方向 × 視聴距離の 3 要因分散分析結 果 (**: p<0.01).	41
3.8	水平方向における各映像の単純交互作用の検定の結果 (**: p<0.01). . .	41
3.9	水平方向における単純・単純主効果の検定, 多重比較の結果 (*: p<0.05, **: p<0.01).	42
3.10	垂直方向における映像種類 × 視聴方向 × 視聴距離の 3 要因分散分析結 果 (**: p<0.01).	43
3.11	垂直方向における各映像の単純交互作用の検定の結果 (**: p<0.01). . .	43
3.12	垂直方向における単純・単純主効果の検定, 多重比較の結果 (**: p<0.01). .	44
4.1	標準偏差 (水平・垂直) と注視領域面積の 2 要因 (シーン・音響) 分散 分析結果.	62

4.2	シーン条件の組における多重比較結果（水平方向の標準偏差）.	63
4.3	各要因における条件間の単純主効果検定の結果（垂直方向の標準偏差）.	63
4.4	各要因における単純主効果が有意であった条件内での多重比較の結果 （垂直方向の標準偏差）.	64
4.5	音響条件の組における多重比較結果（注視領域面積）.	65
5.1	映像パラメータ.	72
5.2	ジャンル毎の映像シーンの詳細.	72
5.3	1 要因分散分析結果（水平方向の標準偏差）.	79
5.4	1 要因分散分析結果（垂直方向の標準偏差）.	79
5.5	有意差があった再生速度の組（水平方向の標準偏差）.	80
5.6	有意差があった再生速度の組（垂直方向の標準偏差）.	80

目次

1.1	ホームシアターやスマートフォンでの映像視聴の一例.	2
1.2	視聴位置の違い.	7
1.3	音響システムの違い. モノラル (1.0 ch) : C, ステレオ (2.0 ch) : L, R, サラウンド (5.1 ch) : LL, L, C, R, LR, SW.	8
1.4	Netflix [†] の再生速度変更機能.	10
2.1	視線計測装置の構成図.	15
2.2	視線計測に対する各センサの取り付け位置.	16
2.3	実験参加者後方に設置したカメラ映像上への視線表示例.	18
2.4	眼球運動, 頭部運動の座標軸.	19
2.5	実験風景.	19
2.6	視線・眼球運動・頭部運動の例 (水平右方向 30 度).	20
2.7	注視位置の平均と標準偏差 (水平方向).	22
2.8	注視位置の平均と標準偏差 (垂直方向).	23
2.9	注視位置の散布図.	25
3.1	各映像シーンのカット例.	31
3.2	視聴位置 (視聴距離, 視聴方向) 条件.	33
3.3	実験風景 (映像 3 視聴時).	34
3.4	各映像における平均注視点と標準偏差, 注視点の割合 (視聴距離 : 3H).	36
3.5	各映像における平均注視点と標準偏差, 注視点の割合 (視聴距離 : 0.75H).	39
3.6	各映像における平均注視点と標準偏差, 注視点の割合 (視聴距離 : 1.5H).	40
4.1	実験室 (シールドルーム) 内の配置.	52

4.2	実験室（シールドルーム）内の風景.	53
4.3	ある実験参加者の各音響条件における注視点分布（Valley C）.	57
4.4	図 4.3 と同じ被験者の各音響条件における注視点の平均と垂直・水平方向の標準偏差（ 2σ ）（Forest）.	58
4.5	図 4.3 と同じ被験者の各音響条件における注視点の平均と垂直・水平方向の標準偏差（ 2σ ）（Valley）.	59
4.6	標準偏差の平均.	60
4.7	注視領域の平均面積.	61
5.1	Hulu [†] の再生速度変更機能.	70
5.2	映像シーンのカット例.	73
5.3	実験風景（テニス映像 [96] 視聴）.	74
5.4	注視点の変化の例.	76
5.5	各ジャンル映像における注視点の標準偏差.	78

第1章

序論

本論文は、映像視聴方法の違いが注視に与える影響の分析に関する研究成果をまとめたものである。

本章では、まず 1.1 節で最新の映像表示技術や映像視聴方法など、本研究の背景について述べる。1.2 節では、本研究で分析する映像視聴時の生体反応について述べる。1.3 節では、本研究の位置づけと目的を述べる。最後に、本論文全体の構成を 1.4 節で述べる。

1.1 研究背景

本論文では、高精細な動画像と高品質な音声からなるコンテンツで、制作者による演出や効果が加えられたものを“映像”と定義する。このような映像は、視覚的な情報伝達手段として、社会に広く普及している。映画やテレビ放送、インターネット、ゲームなど、日常のあらゆる場面において、映像は人々が情報を得る手段として一般的なものとなっている。なお、以下では、“映像”をインターネット動画や動画配信サービスなどの“動画”を含むものを対象とすることにし、文献等で明示的に“動画”と記述されているもの以外は“映像”と表現する。

近年の通信技術、放送技術、表示技術、撮影技術などの発達により、多種多様な映像が制作されている。日本放送協会（NHK）では、放送メディアの未来ビジョンとして「屋内、屋外、自動運転中の車内など日常のあらゆる生活空間で、いつでも好みの機器を使って没入感・臨場感あふれるコンテンツを視聴・体感することができます。」という多様な視聴スタイル（視聴方法）[1]を描いている。実際に近年、この未来ビジョンで示されて



図 1.1: ホームシアターやスマートフォンでの映像視聴の一例。

いるように、多様な視聴方法が登場しつつあり、着実に増加しつつある。様々な映像視聴方法により、人々は新たな形態の映像視聴をすることが可能になりつつある。この新たな形態の映像視聴を用いた、より良い映像サービスの実現が目指されている。

最新の映像技術による映像視聴方法の例をいくつか紹介する。家庭における視聴では、4K・8K テレビが登場している。従来のフルハイビジョンと比較して、4倍・16倍の画素数を持つ高解像度により、人物や物体の細部まで鮮明に映し出す。ハイダイナミックレンジ（High Dynamic Range；HDR）により、表現可能な明るさの範囲を大幅に拡大する。最大 22.2 ch サラウンドまで対応した音響環境である。これらの特徴により、臨場感のある映像視聴が可能となっている。

劇場における視聴では、IMAX[®] [2]、4DX[®] [3] / MX4D[®] [4]、SCREEN X [5] などの設備を備えた劇場が充実してきている。IMAX[®] は、2台のレーザ投影システムを用いた巨大スクリーンに表示される高鮮明、高コントラストの超高解像度映像と多チャンネルサウンドシステムである。4DX[®] / MX4D[®] は、自由自在に動き出す座席と水や風、香り、フラッシュなどを体感できる効果により、映像の様々なシーンと即時かつ躍動的に連動したシステムである。SCREEN X は正面のスクリーンを左右の壁面に拡張して視界を 270 度まで広げた 3 面の投影システムである。映像に包み込まれるような感覚を視聴者に与え、深い没入感を味わわせることが可能である。このような革新的な映像表示設備の導入により、劇場では家庭とは違った映像視聴が楽しめるようになっている。

一方、従来のテレビや劇場での視聴以外の方法として、スマートフォン、タブレット、パソコンなどの機器上での視聴が増えてきている。インターネット通信の高速化から、高

画質の映像を遅延なく視聴することが可能になってきている。動画配信サービスを用いて、個人の端末で時間と場所を問わず視聴する方法が定着しつつある。

このように、多様な映像視聴方法がある現在では、ユーザが好みの映像視聴方法を選択し、視聴することが考えられる。MMDLabo (株) が 2021 年に 18 歳～69 歳の男女 5,706 人を対象として調査した「動画視聴に関する利用実態調査」[6] がある。テレビ (地上波・BS・CS)、YouTube^{*}、動画配信サービス (Netflix[†], Hulu[‡], U-NEXT[§]など) の 1 日の平均視聴時間について調査している。その結果、テレビが多かったのは 60 代、YouTube が多かったのは 10 代、動画配信サービスが多かったのは 20 代となっている。従来のテレビや劇場での視聴を前提とした視聴方法が、技術の進歩とともに多様な映像視聴方法へ移り変わっている最中である。また、様々な機器上での多様な再生方法も映像視聴方法の 1 つとして用いられている。

このような背景から、本研究では、映像の視聴方法に焦点を当てる。本論文では、4K・8K テレビに代表される大画面・広画角、サラウンド音響環境での臨場感のある映像視聴を想定する。ここで、視聴方法とは、映像を視聴する手段のうち、視聴環境、再生方法の違いと定義し、多様化した映像視聴方法に対する、ユーザの映像視聴を評価する。この評価から、映像視聴方法に関する基礎知見や、それらの映像視聴方法を活かした新たな映像制作手法への展開を期待する。

1.2 映像視聴時の生体反応

本研究では、ユーザの映像視聴を評価する手法として、映像視聴時の生体反応を用い、視線に着目する。本節では、これまで行なわれてきた映像視聴時の生体反応の計測と視線の計測について概観する。

1.2.1 生体反応の計測

映像視聴の評価は、ユーザが視聴している映像に対して、その画質や印象、コンテンツ理解度など、分析目的に合わせた評価が行なわれる。この評価の際に、評価者の主観的な

* <https://www.youtube.com/>

† <https://www.netflix.com/>

‡ <https://www.hulu.jp/>

§ <https://video.unext.jp/>

印象を評価する主観評価 [7–11] が古くから用いられている。その方法については国際電気通信連合 (International Telecommunication Union ; ITU) の勧告として国際標準化がなされている [12–17]。しかし主観評価では、評価者自身が感じた印象を具体的に言語化することや一貫性を持って正確に評価することが難しいという課題がある。そのため、生体反応の計測を用いた評価手法が行なわれている。映像視聴時に生じる生理的な反応や無意識に表れる行動を計測することで、客観的なデータとして取得するものである。この計測では、主観評価から得られない情報を取得できる。また計測技術の発達から、非侵襲で計測できる装置が普及してきた。このことから、様々な生体反応を計測して評価する研究が増えてきている。本項では生体反応の計測として代表的な、脳活動の計測に関する研究について述べ、次項で本研究で着目する視線について述べる。

脳活動の計測では、映像視聴時の基となる脳の働きを捉える。脳は視覚や聴覚から得た映像に対する情報処理が行なわれる部位である。映像の受容や評価に関わるあらゆる情報が処理されており、これらの情報を取得することは、有用と考えられている [18]。その研究例をいくつか紹介する。映像酔いを引き起こす映像を明らかにした研究では、後頭葉の脳活動を近赤外分光脳イメージング装置 (Near-InfraRed Spectroscopy ; NIRS) で計測したものがあつた。刺激が提示された視野と反対側の半球で刺激の強度に応じた反応が見られたと報告されている [19]。脳活動解析を用いて映像コンテンツに対する人の心理状態を推定した研究では、お笑い番組を見ているときの「ユーモア (おかしさ)」に関する脳の情報処理過程を読み解いている。脳活動パターンを特徴ベクトル、脳の状態をラベルとした教師あり学習アルゴリズムにより脳情報デコーディングを行なっている [20]。映像視聴時のポジティブ・ネガティブ情動を評価した研究では、NIRS を用いてポジティブ情動とネガティブ情動と脳活動との関連性を明らかにしている [21]。これらの脳活動の計測では、映像視聴時に得た情報を人が脳内で処理する際に変化する脳血流や電気信号を特徴化することで、人の心理状態の把握や推定を行なっている。

1.2.2 視線の計測

前項で述べたように、映像視聴時には視覚と聴覚で情報を取得し、脳でその情報を処理する。その処理結果として、視線の動きとして興味対象の領域への注視や注意を引き寄せられる対象への注視が表れる。このため、視線の動きは映像評価の判断に関わる有用な情報を含んでいるとされている。例として、同じ映像を視聴して評価する場合でも、視聴

者により注視している領域は異なる。このことから、注視している領域を特定できれば、その映像の詳細な分析が可能であるとしている [18]。テレビや映画を視聴した際の視線の分析は、様々なものが行なわれており [22–29]、映像視聴時の視線は映像制作者にとって有用な知見となりうる。また、視線と注意の関係性に関する研究も多く行なわれている [30–40]。この観点からも映像視聴時の注視状況を把握するために、視線を計測することは有効であると言える。さらに、視線計測装置の小型化・軽量化、画像解析技術の向上から、装着の負担も少なく、実用的な計測が可能になってきている。以上のことから、本研究では視線に着目する。映像視聴時の視線を計測し、映像視聴方法に対する注視傾向を分析することで、その影響を明らかにする。

本論文では、眼球運動と頭部運動を協調させて視対象を見る動きを視線の動きと定義する。人が瞬時に眼球を移動させて情報受容が可能な有効視野の範囲は、水平方向 ± 15 度以内、垂直上方向 8 度以内、垂直下方向 12 度以内である。眼球運動と頭部運動により無理のない情報受容が可能な安定注視野の範囲は、水平方向 $\pm 30\sim 45$ 度以内、垂直上方向 $20\sim 30$ 度以内、垂直下方向 $25\sim 40$ 度以内である [41]。このように広い範囲の視野を見ようとする際には、眼球運動だけで捉えることが難しいため、頭部運動が欠かせない。

眼球運動の網膜上の座標系は、頭部運動に代表される体の座標系と脳内で統合され、視線の座標系となる [42]。眼球運動と頭部運動との関係性の研究では、眼球運動の約 2 倍の大きさで頭部運動が生じる [43]。サッカード（視覚目標を視力の高い網膜中心窩で捉えるための急速眼球運動 [44]）を用いた眼球運動だけで視線を動かし、視対象を見ることができる範囲は約 15 度である [45]。20～30 度を超えると頭部運動が視線の動きの約 60～80% を占める [46,47] といった報告がある。

1.3 本研究の位置付け

本研究では、最新の映像表示技術を用いた大画面・広画角、サラウンド音響環境での臨場感がある映像視聴を想定し、映像視聴方法の違いが、人の映像理解に与える影響を明らかにする。最新の映像表示技術を用いた映像視聴では、従来のテレビでの視聴と比べ、高精細な動画像及び立体音響などが視聴者の視聴に与える影響が大きいことが推測される。映像視聴においては、映像の視聴方法を表す視聴要因と、映像の再生方法を表す再生要因が考えられる。前者には、室内の照度、表示システム、音響システム、視聴位置があり、

後者には、早送り／早戻し、再生速度、飛ばし再生がある。映像視聴時の人の視線の動きは、視聴者の視空間的注意を反映しているとされている [18]。このことから、本論文では、視線の動き（注視）に着目し、視線の動きに違いが表れる可能性がある視聴位置、音響システム、再生速度について検証する。映像視聴は、時空間の視聴覚マルチモーダル体験であることから、その視覚（視聴位置）・聴覚（音響システム）・時間（再生速度）に対する分析を行なう。

人による映像理解とは、ユーザが映像を視聴した際に映像コンテンツの意味を把握することである。この映像理解には、映像の視聴方法、映像内容自体の影響、視聴者の意識が複雑に関係している。その中から、本論文では視聴方法について、基礎検討を行なう。一般に、映像制作者は、視聴者の意識を制御するように映像を制作するが、実際に万人の意識を完全に制御することは難しい。また、既存の映像コンテンツを改変することはできない。一方で、映像理解を深めやすい最適な視聴方法の構築は制御が容易であることから、視聴方法について検証する。前述したように、視線の動きは、視聴者の視空間的注意を反映しているとされている。視線の動きを分析することで、視聴方法に起因する視聴者の注視の違いを把握することができることから、映像理解のために必要な要素への注視に関する基礎的な知見を得ることができると考えられる。映像視聴時の視線計測は様々なものが行なわれている [22–29] が、映像内容や映像品質など映像パラメータの違いを検証したものになっている。その際の映像視聴方法は、ITU 勧告 [15,16] に従ったものが多いが、実際の映像視聴時に、この勧告通りに視聴することは稀である。そこで、本論文において視聴方法の違いに着目する。具体的には、以下の3つの視聴方法の違いについて実験をして検証する。

- (a) 視聴位置（視聴距離、視聴方向）の違い
- (b) 音響システム（モノラル、ステレオ、サラウンド）の違い
- (c) 再生速度（0.75～3.0 倍速）の違い

実験結果の分析により、各映像視聴方法における注視の特徴を把握し、その特徴を用いることで、映像理解に対する基礎的な知見が得られ、視聴方法に適した視聴環境の構築や映像制作者へのフィードバックへの応用が期待される。具体的には、視聴者の視聴位置を考慮した視対象である人物や物体の配置や画面作りをすること、視聴者の音響環境に応じた注意を引くための音作りをすること、視聴者の映像理解に合わせて再生速度を変更するこ

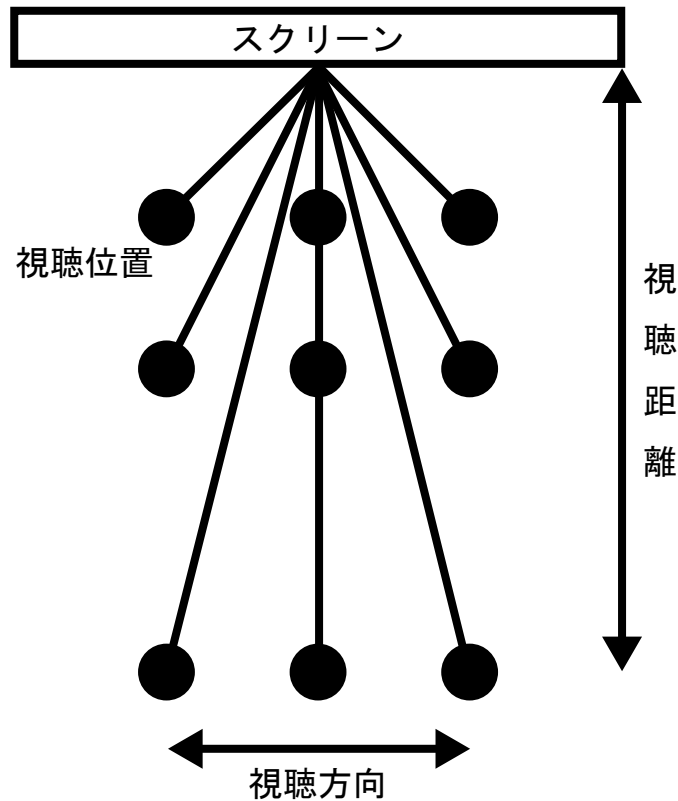


図 1.2: 視聴位置の違い.

となどが考えられる。

前節で述べた研究背景をふまえ、各視聴方法における研究の目的および位置付けについて述べる。

(a) 視聴位置（視聴距離，視聴方向）の違い

視聴位置（視聴距離，視聴方向）の影響を検証するために、映像視聴時の視線を計測し、分析する（図 1.2）。4K・8K テレビの登場による映像の高精細化から、テレビに対して従来よりも近い視聴距離、広い観視画角で視聴することが可能になってきている。視聴距離に関する研究として、画面サイズや表示輝度、解像度、映像内容などをパラメータとして視聴距離の違いを検証したものがある [48–51]。しかし、これらの研究では映像を表示するディスプレイの中心から視聴した状況で検証しており、視聴位置を変化させて検証して

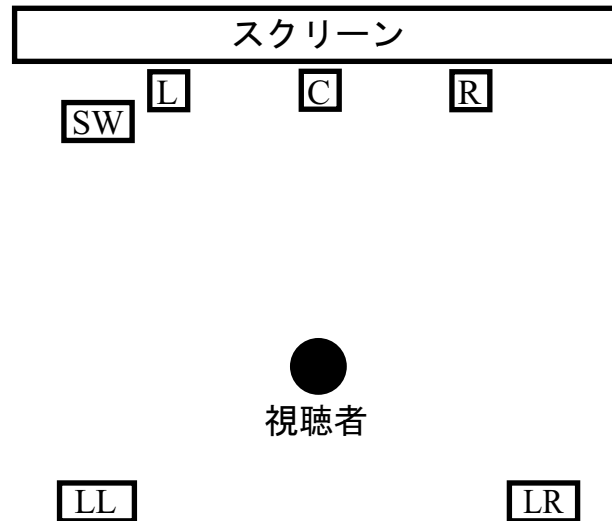


図 1.3: 音響システムの違い. モノラル (1.0 ch) : C, ステレオ (2.0 ch) : L, R, サラウンド (5.1 ch) : LL, L, C, R, LR, SW.

いない。また、家庭におけるテレビの観視条件を調査した研究において、ユーザの視聴位置はテレビに対して右側に約 37%、左側に約 60% を占めているという報告がある [52]。このように一般家庭内において様々な方向からテレビを視聴することから、視聴距離と視聴方向という視聴位置の影響の検証が視聴環境構築にとって重要であると考えられる。実際に視聴距離を変えたり、視聴方向を左右に移動したりした場合には注視位置に変化が見られる可能性が考えられる。しかし、視聴位置をパラメータとしてユーザの注視位置を測定した研究は行なわれていない。そこで本研究では、視聴距離と視聴方向が注視に及ぼす影響を明らかにする。

(b) 音響システム (モノラル, ステレオ, サラウンド) の違い

音響システム (モノラル, ステレオ, サラウンド) の影響を検証するために、モノラル, ステレオ, サラウンドの各音響システム環境下の映像視聴時の視線を計測し、分析する (図 1.3)。サラウンド音響では、従来のステレオスピーカ (2.0 ch) に、リアスピーカやバックスピーカなどスピーカの数を追加する (5.1 ch / 7.1 ch / 22.2 ch)。視聴者を包み込むように配置することで、臨場感がある音響空間を構築することが可能である。映画

ではサラウンド音響を収録し、劇場や家庭内でサラウンド音響環境で視聴する機会が増えている。このことから、サラウンド音響環境で映像を視聴する際に人が注目する位置を視線計測を通して分析することで、最適な音響システムを用いた視聴環境構築に役立つ可能性がある。音と視覚的注意に着目した研究では、聴覚と視覚が相互に影響しあうことが報告されている [53-55]。サラウンド音響に着目した研究では、特定のタスクにおける音と注意行動の関係性を明らかにした研究がある。実験参加者へ人の数を数えるタスクを課した際に、視野外からのサラウンド音によって視覚的注意が引き寄せられ、視覚的注意領域が広がることが報告される [56,57]。一方で、タスクを課さずに自然な条件下での映像視聴時の検証をした研究は行なわれていない。そこで本研究では、自然な条件下での映像視聴時のサラウンド音響の効果を明らかにする。

(c) 再生速度 (0.75~3.0 倍速) の違い

再生速度 (0.75~3.0 倍速) の影響を検証するために、異なる再生速度での映像視聴時の視線を計測し、分析する。Netflix[†]や Hulu[‡]などのオンライン映像ストリーミングサービスの登場から、パソコンやスマートフォンなどで様々なジャンルの大量の映像を視聴することが可能になり、それらのサービス上での視聴が増えてきている。また、その際に再生速度を変更する機能があり (図 1.4)、倍速再生機能を使用する人が増えてきている [58]。前述したようにテレビや映画を視聴した際の視線の分析は、様々なものが行なわれているが [22,23,25,28,29]、基本的に等倍速 (1.0 倍速) で映像を視聴することを前提としている。そこで本研究では、再生速度を変化させて映像を視聴した際に表れる視線の違いについて、再生速度の影響を明らかにすることを目指す。

1.4 本論文の構成

以下に、本論文の構成を示す。

第 1 章は序論であり、本研究の背景、映像視聴時の生体反応、位置付けを述べた。

第 2 章では、近距離かつ広画角の映像視聴時の視線計測を実現するシステムの開発として、眼球運動と頭部運動の同時計測装置を提案する。また、開発した視線計測システムの精度評価実験を行ない、装置の有用性を確認する。

[†] <https://www.netflix.com/>

[‡] <https://www.hulu.jp/>

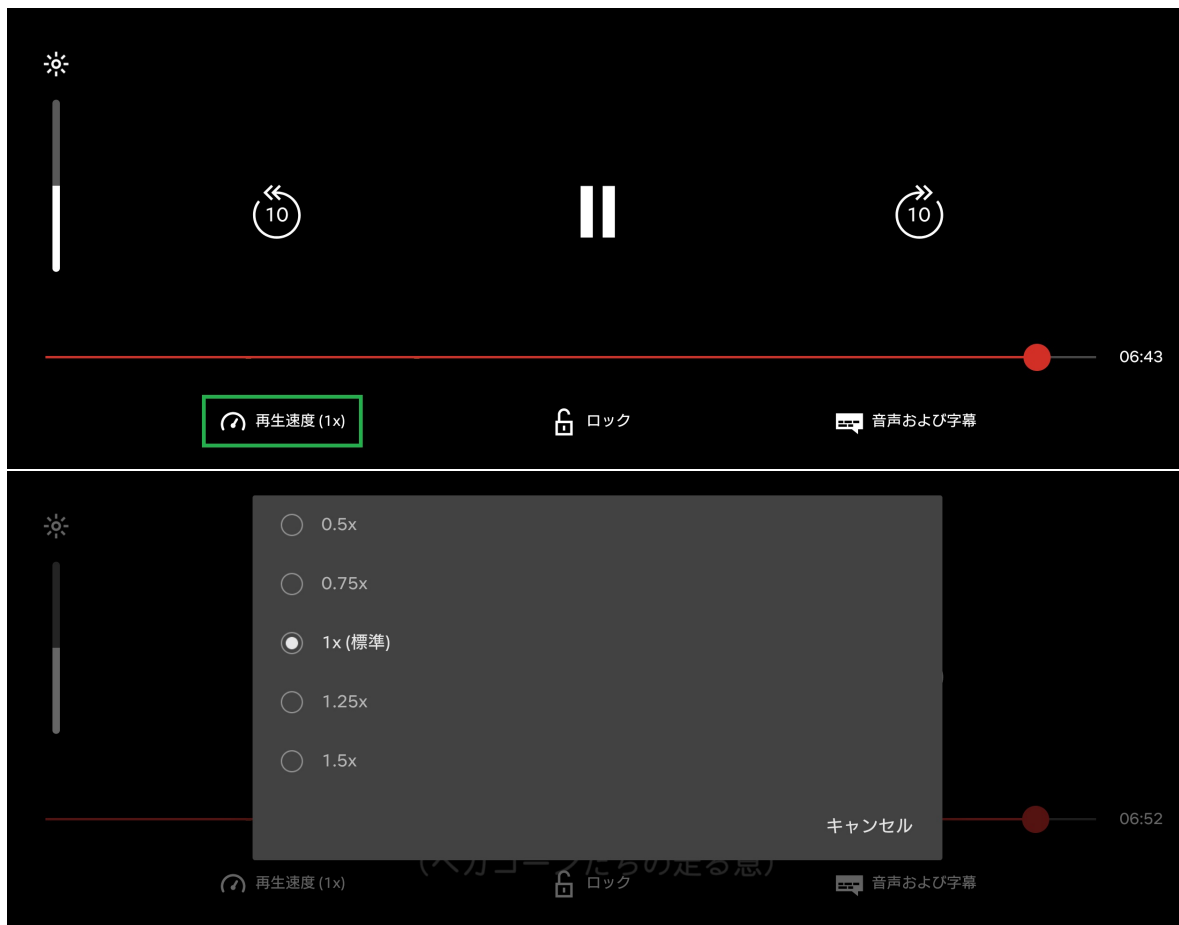


図 1.4: Netflix[†]の再生速度変更機能.

第3章では、第2章で開発した視線計測システムを用い、視聴位置（視聴距離、視聴方向）の違いを検証する。一般的に家庭でのテレビ視聴や劇場での映画視聴の際には、様々な方向から視聴することが多い。その場合には、注視位置が様々に変化する可能性が考えられるが、視聴位置をパラメータとしてユーザの注視位置を測定した研究は従来行なわれていない。そこで、視聴位置（視聴距離、視聴方向）を変化させた視線計測実験を行ない、注視点分析から注視に与える影響を明らかにする。

第4章では、第2章で開発した視線計測システムを用い、音響システム（モノラル、ステレオ、サラウンド）の違いを検証する。サラウンド音響システムでは、リアスピーカやバックスピーカなどスピーカの数を追加することで、臨場感がある音響空間を構築することが可能であり、サラウンド音響でその音響空間から発生する音を聴くことが可能であ

[†] <https://www.netflix.com/>

る。映画ではサラウンド音響を収録し、サラウンド音響環境を構築した家庭や劇場で、視聴する機会も増えつつある。そこで、サラウンド音響環境での視線計測実験を行ない、注視に与える影響を注視点分析から明らかにする。

第5章では、再生速度（0.75～3.0倍速）の違いを検証する。オンライン映像ストリーミングサービスの登場により、パソコンやスマートフォンなどの機器で大量の映像を視聴する人が増えてきている。その映像視聴の際の時間短縮手法として、再生速度を早める倍速視聴を行なう人が増えつつある。そこで、様々な再生速度での視線計測実験を行ない、注視に与える影響を注視点分析から明らかにする。

最後に第6章で、本論文の総括として、各章で行なった実験結果から得られた映像理解に対する基礎的な知見についてまとめるとともに、残された課題と展望について述べる。

第2章

広範囲の視線計測システムの開発

第1章で述べたように、本研究では、映像視聴における以下の3つの視聴方法の違いについて視線計測実験を行なう。

- (a) 画面を見る視聴位置（視聴距離，視聴方向）の違い
- (b) 音響システム（モノラル，ステレオ，サラウンド）の違い
- (c) 再生速度（0.75～3.0倍速）の違い

本章では、これらの視線計測実験のうち、(a)と(b)を実施するために開発した視線計測システムとして、眼球運動と頭部運動の同時計測装置について述べる。

以降、2.1節で本システムの開発の動機付けについて述べる。2.2節で従来の視線計測システムについて述べる。2.3節では、開発した計測装置の概要について述べる。2.4節では、精度評価実験・結果について述べ、2.5節で考察する。最後に2.6節でまとめる。

2.1 はじめに

広い範囲の視野を見ようとする際には、眼球運動だけで捉えることが難しく、頭部運動が欠かせない。このため、本章では新たな視線計測システムの開発として、眼球運動と頭部運動を同時計測する装置を提案する。4K・8Kテレビに代表される超高精細映像では、画素の細かさから近距離かつ広画角で映像を視聴することが可能である。従来のフルハイビジョンでは画面の高さの3倍(3H)とされていた観視距離[59]が、4Kでは1.5H、8Kでは0.75Hと近づいている。観視画角としては、フルハイビジョンの約30度から4Kでは約60度、8Kでは約100度となる[60,61]。このことは、大画面に表示された映像を広

い画角や近距離で視聴することが可能になり、視聴者が映像をこれまでとは違った条件で見られるようになることを示している。

頭部運動を含めた視線計測の研究では、角膜表面の反射像から注視位置を推定するもの [62]、モバイルタブレット端末注視時の眼球画像から注視位置を推定するもの [63,64] などがある。これらの研究では、モバイルタブレット端末上の注視位置を推定することにより、人とモバイルタブレット端末の相互作用を評価している。これらはモバイルタブレット端末上の注視推定には十分であるが、広画角での視線計測には適用できない。

本章における貢献は、頭部運動を含めた視線計測により、広い画角や近距離での映像視聴時の計測が可能になることである。

2.2 従来の視線計測システム

本節では、従来の視線計測システムについて述べる。近年の視線計測システムは、装着型のものや据え置き型のものが多数の会社から販売されている。装着型の代表的なものとして、Tobii Pro Glasses 3 (トビー・テクノロジー (株)) [65]、ISCAN ((株) クレアクト) [66]、アイマークレコーダ EMR シリーズ ((株) ナックイメージテクノロジー) [67] などがある。これら装着型のシステムでは、眼球を撮影するアイカメラとシーンカメラとの間で対応を取る較正作業を計測の前に行なうことで、シーンカメラに映し出された視対象を見る視線を計測するものである。このため、頭部運動が生じても計測が可能である。一方で、シーンカメラも頭部運動に合わせて動くことが考えられる。また、これらの計測システムでは主に眼球運動を計測している。頭部運動は別途備え付けのセンサで値だけ記録するか、計測自体をしないものが多い。本章で開発するシステムは、近距離かつ広画角の映像視聴時に対応する。頭部運動が生じても視対象であるディスプレイが動くことがなく、その中で見ている位置の計測が可能なものとする。

据え置き型のものには、Tobii Pro スペクトラム (トビー・テクノロジー (株)) [68]、FX3 ((株) クレアクト) [69] などがある。これら据え置き型のシステムでは、視線を計測する人の前にアイカメラやセンサを搭載した円筒や棒状の装置を据え置き、非接触で眼球運動や頭部運動を捉え、視線を計測するものである。このため、装着負担がなく手軽に計測が可能である。一方で、計測可能な範囲が装置を置く場所に依存してしまう。本章で開発するシステムは、前述したように、近距離かつ広画角の映像視聴時のため、据え置き

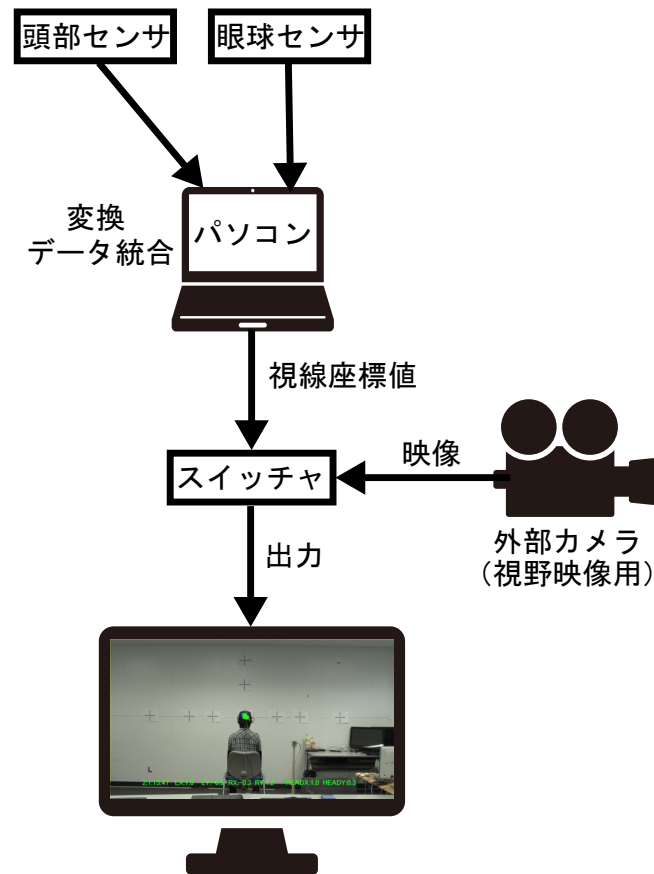


図 2.1: 視線計測装置の構成図.

型であるとディスプレイとの干渉や大きな頭部運動に対応できない可能性がある。

以上のことから、本研究では装着型でディスプレイ全体が映し出され、頭部運動が生じても動かない外部シーンカメラを用いた計測システムを提案する。

2.3 視線計測システムの概要

本節では、開発した視線計測システムである視線計測装置について述べる。以降、本装置の構成、視線表示法および算出法について順に述べる。

2.3.1 システムの構成

開発した計測装置の構成を図 2.1、仕様を表 2.1 に示す。

眼球運動の計測には、瞳孔・角膜反射法で眼球運動の検出を行なうアイマークレコーダ

表 2.1: 視線計測装置の仕様.

眼球センサ	アイマークレコーダ EMR シリーズ ((株) ナックイメージテクノロジー)
頭部センサ	磁気センサ Patriot (Polhemus)
計測範囲	水平: ± 60 度 垂直: ± 45 度
検出レート	60 Hz
分解能	0.1 度
計測可能人数	1~2 人

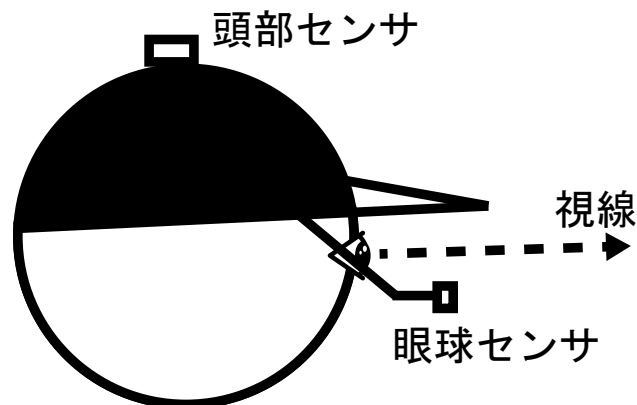


図 2.2: 視線計測に対する各センサの取り付け位置.

EMR シリーズ ((株) ナックイメージテクノロジー) を用いる. 頭部運動の計測には, 磁気センサ Patriot (Polhemus) を用いる. 頭部センサの磁気センサは頭頂部に取り付けて計測を行なう. そのセンサ取り付け例を図 2.2 に示す. 磁気センサで計測される回転データの出力とアイマークレコーダの出力はパソコン上で統合される. この統合されたデータが視線の計測値となる.

2.3.2 視線の表示方法

前節で統合された視線の計測値だけでは, 見ている対象がわからない. このため, 視野映像上に視線を表示する新たな手法を提案する. 従来のアイマークレコーダでは, 前節で

述べたように、この視線表示を装置備え付けの視野カメラ上で行なっていた。しかし、この手法では広い範囲を見る際の頭部運動に合わせて映像が動いてしまう。このため、頭部運動を加えた視線表示や広視野範囲で視線表示をすることはできなかった。また、アイマークレコーダの視野映像からの解析では視対象全体との整合を取ることが難しく、実時間で視線位置を解析することができなかった。このことから、正確に視線表示を行なうために体の動きに左右されない位置から映像を撮影する、もしくは提示映像自体を視野として、その外部から取り込んだ映像上に視線を表示する必要がある。そこで、本手法ではアイマークレコーダの視野カメラの代わりとして、実験参加者後方に設置したビデオカメラの映像もしくは提示映像を使用し、取得した視線の表示を行なう。

この視野映像と視線の合成をする装置として、ATEM Production Studio 4K Switchers (Blackmagic Design Pty. Ltd.) を用いる。視線の座標系と外部シーン映像の較正は、視角 ± 10 度の枠を外部シーン映像上に映し出すことで行なう。外部シーン映像上の画素値に視線の座標を変換する。実験参加者後方に設置したビデオカメラの映像上に視線を合成した表示例を図 2.3 に示す。左目の位置を丸、右目の位置を正方形で表示しており、画面下部に視線の XY 座標値、頭部回転角度を表示している。合成された映像はディスプレイへの出力と記録が可能である。

2.3.3 視線の算出方法

本装置では取得した眼球運動データ、頭部運動データを変換して視線を算出する。変換に使用する変数の定義を表 2.2、座標軸を図 2.4 に示す。

視線の算出式を式 (2.1)、(2.2) に示す。頭部の傾きを考慮し変換した眼球運動に、水平垂直それぞれの頭部運動を加えることで算出する。

$$G_x = E_x \cos(H_\psi) + E_y \sin(H_\psi) + H_\theta \quad (2.1)$$

$$G_y = -E_x \sin(H_\psi) + E_y \cos(H_\psi) + H_\varphi \quad (2.2)$$

2.4 精度評価実験

本節では、視線計測装置を用いて行なった精度評価実験の詳細について述べる。以降、実験手法、実験結果について順に述べる。

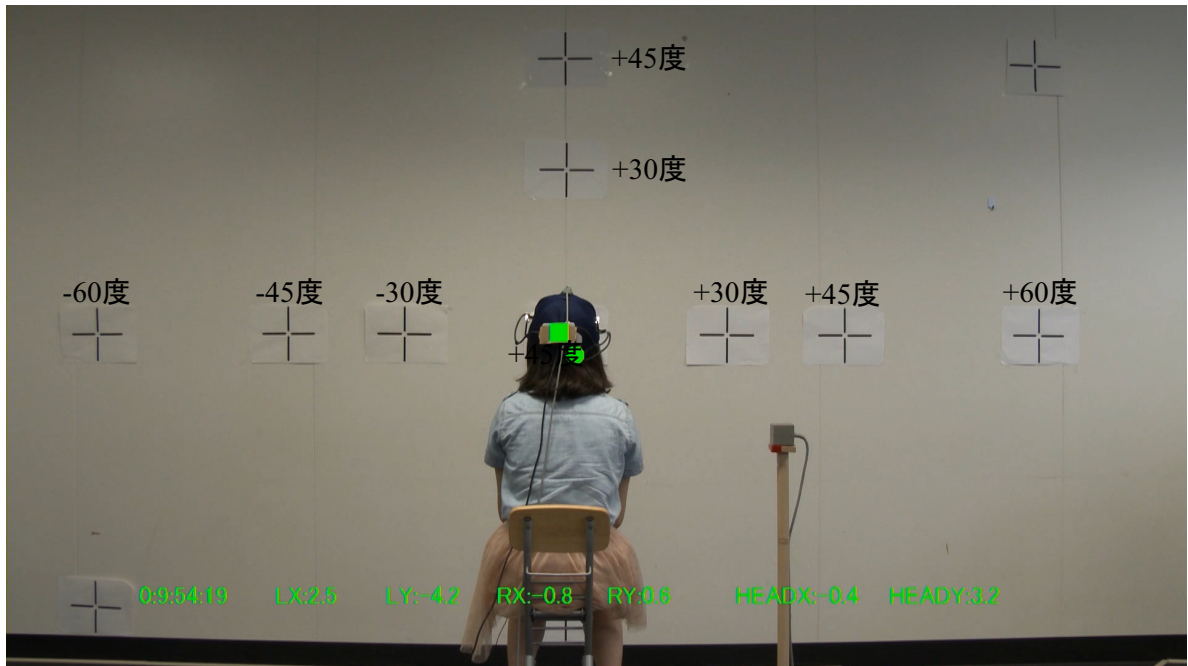


図 2.3: 実験参加者後方に設置したカメラ映像上への視線表示例.

表 2.2: 視線の算出のための視線, 眼球, 頭部運動の変数の定義.

変数	定義
G_x	視線 X (水平)
G_y	視線 Y (垂直)
E_x	眼球 X (水平)
E_y	眼球 Y (垂直)
H_θ	頭部 X (水平)
H_φ	頭部 Y (垂直)
H_ψ	頭部 Z (傾き)

2.4.1 実験手法

壁面を利用して水平方向に ± 30 度, ± 45 度, ± 60 度, 垂直方向に ± 30 度, ± 45 度, 中心 0 度の位置に十字視標を設置し, その視標を実験参加者に注視させる精度評価実験を行った. 実験風景を図 2.5 に示す.

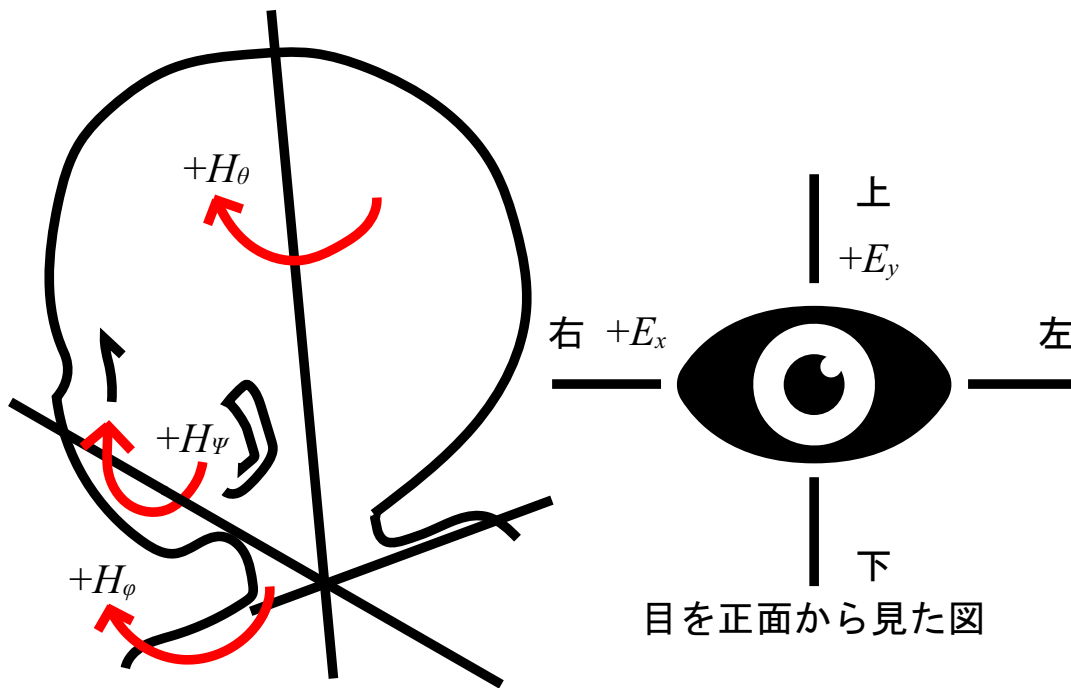


図 2.4: 眼球運動, 頭部運動の座標軸.

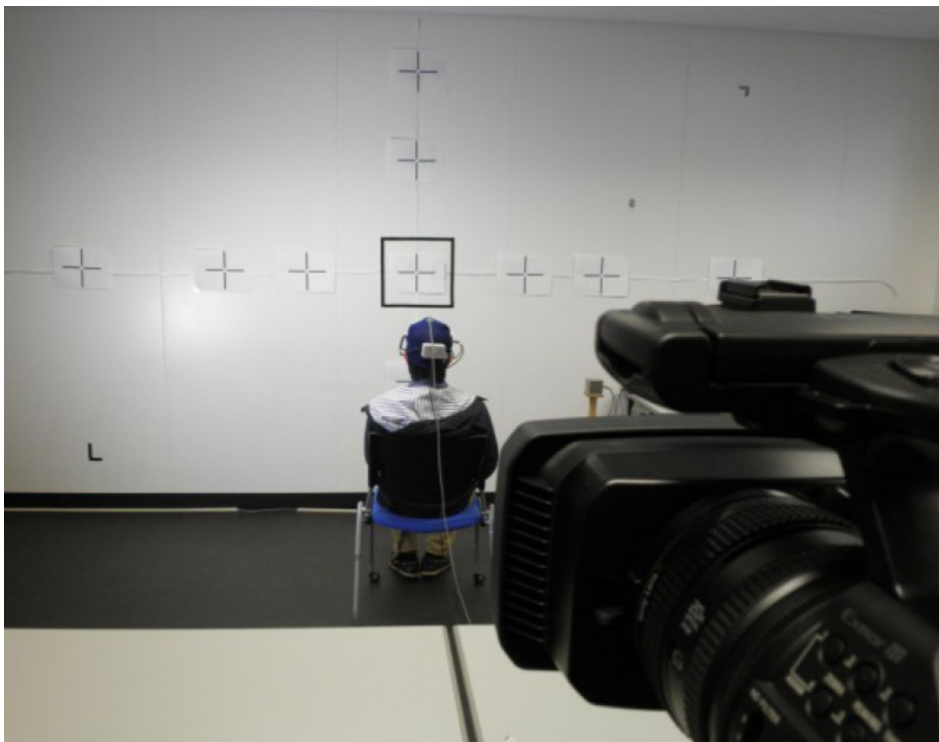


図 2.5: 実験風景.

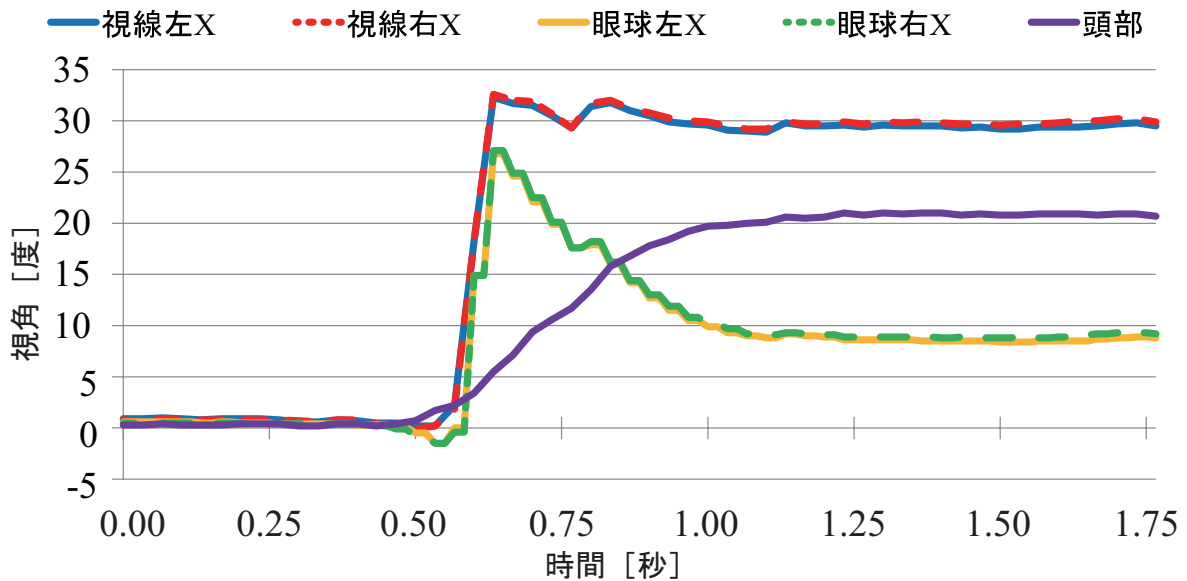


図 2.6: 視線・眼球運動・頭部運動の例（水平右方向 30 度）。

実験参加者は壁面から 1 m の位置にある椅子に座り、合図とともに自然な状態で視標を注視する。眼球運動だけで注視をすると眼球運動測定装置の測定範囲外となるため、頭部運動を用いて視標を注視するように指示を行なった。視野映像は実験参加者後方に設置したカメラより、水平方向 ± 60 度が収まる範囲で撮影を行なった。

実験は中心点と視標を 1 回ずつ往復するものと中心点（0 度）→ 視標（水平右方向 30 度）→ 視標（水平右方向 45 度）→ 視標（水平右方向 60 度）→ 中心点のように順に視標を移動する 2 通り実施した。方向の順序は、右 → 左 → 上 → 下とした。実験参加者は 20 代男性 10 名で、正常な視力を持ち視標を視認可能である。実験参加者ごとに眼球センサ、頭部センサ及び外部カメラ映像の較正を行なった後、実験した。本実験は、東海大学で実施し、同大学の「人を対象とする研究」に関する倫理委員会規定に従い実施した。

2.4.2 実験結果

実験の結果、全ての実験参加者において視標へ視線を移動させるときに似た傾向の眼球運動と頭部運動が見られた。その解析の一例を図 2.6 に示す。ある実験参加者が水平右方向 30 度を注視したときの視線・眼球運動・頭部運動を動き出しに着目し、抜き出したグラフである。注視位置や注視対象を変える際に生じる眼球のサッカードにより視標の位置を大まかに捉え、その後に頭部運動が追い付く動きが見られた。この例において、眼

球のサッカードでは視標位置に対して少し大きめに動き、頭部運動が追いつくに従ってサッカードとは逆向きに動く位置を調整する動きが生じた。この眼球のサッカードが生じ、その後に頭部運動が追いつく動きは全ての実験参加者について、全ての視標角度で見られた。

この結果を元に頭部運動が5度/秒を下回った100ミリ秒後を安定開始点、1秒間の平均を取った値を注視位置と定義し [70]、視標位置と比較することで、精度評価を行なった。全実験参加者の注視位置を平均したグラフを図 2.7 と図 2.8、平均、標準偏差、誤差をまとめたものを表 2.3 に示す。平均は全実験参加者の注視位置の平均、標準偏差は全実験参加者の注視位置のばらつき度合い、誤差は視標位置との誤差の絶対値を算出したものである。水平方向では、30度の視標位置で約1.7度以内、45度の視標位置で約2.0度以内、60度の視標位置で約2.4度以内の誤差であった。垂直方向では、30度の視標位置で約5.2度以内、45度の視標位置で約6.1度以内の誤差であった。

2.5 考察

本節では、2.4節で得られた実験結果について考察する。

2.4節では視距離を1mに設定し、水平方向に±60度、垂直方向に±45度の範囲で視線の計測を行なった。その結果、ほぼ正確な注視位置を検出できることを確かめた。一方で、最大誤差が垂直下方向45度で6.1度と少し大きな誤差となった。その1つの理由として、精度実験で用いた頭部運動計測用の磁気センサの取り付け位置が考えられる。磁気センサを使用する場合の取り付け位置は実験参加者の頭頂部であり、帽子型アイマークレコーダに取り付けている。このため、実験参加者の頭部の形状やアイマークレコーダの帽子の被り方で、磁気センサの計測の要となるソースコイルとの位置関係にブレが生じてしまい、誤差が大きくなってしまった可能性が考えられる。このことから、アイマークレコーダの取り付け方に左右されにくい位置に磁気センサを取り付けることで誤差が小さくなると考えられる。また加速度センサを使用することで、ソースコイルとの較正を行なう必要がないことから、センサ単体での計測が可能になり、磁気センサと比較して誤差が小さくなると考えられる。

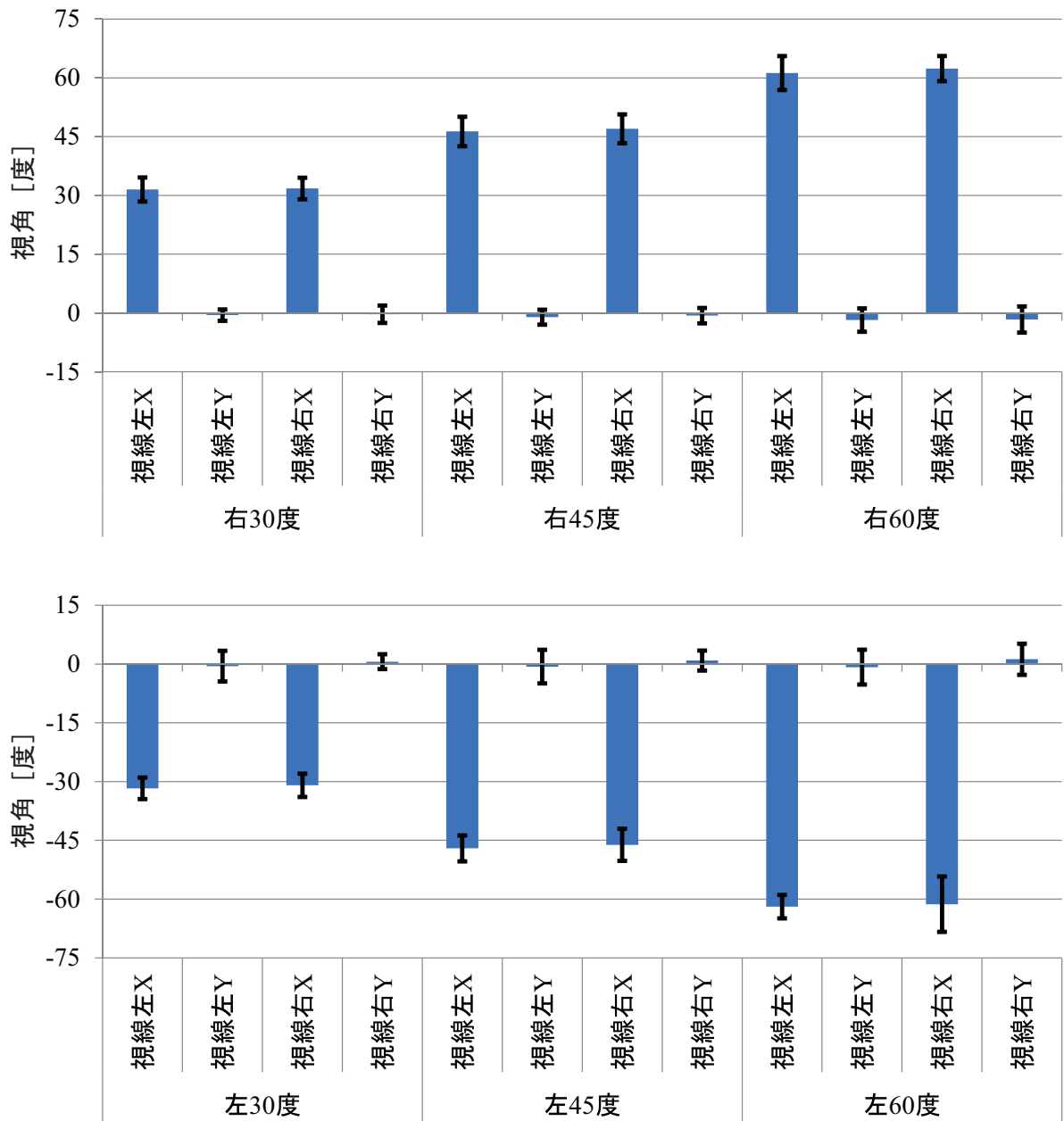


図 2.7: 注視位置の平均と標準偏差 (水平方向).

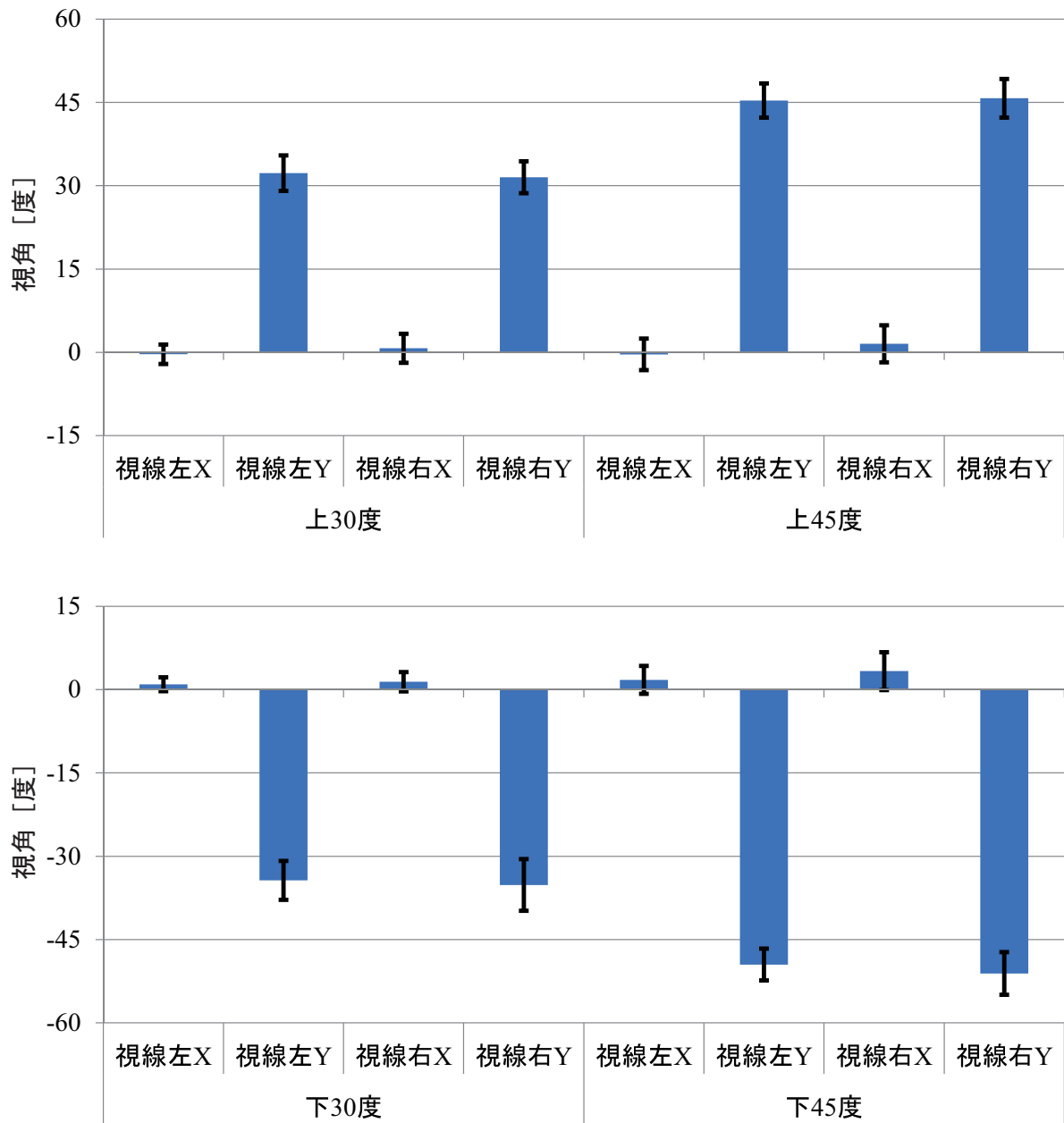


図 2.8: 注視位置の平均と標準偏差 (垂直方向).

表 2.3: 注視位置の平均・標準偏差・誤差.

視標 位置	平均						標準偏差						誤差					
	視線 左 (X)	視線 左 (Y)	視線 右 (X)	視線 右 (Y)	視線 左 (X)	視線 左 (Y)	視線 右 (X)	視線 右 (Y)	視線 左 (X)	視線 左 (Y)	視線 右 (X)	視線 右 (Y)	視線 左 (X)	視線 左 (Y)	視線 右 (X)	視線 右 (Y)		
右 30	31.51	-0.55	31.77	-0.32	3.08	1.45	2.75	2.22	1.51	0.55	1.77	0.32	1.51	0.55	1.77	0.32		
右 45	46.32	-1.08	46.99	-0.69	3.76	1.91	3.69	1.96	1.32	1.08	1.99	0.69	1.32	1.08	1.99	0.69		
右 60	61.24	-1.81	62.37	-1.67	4.33	2.98	3.21	3.34	1.24	1.81	2.37	1.67	1.24	1.81	2.37	1.67		
左 30	-31.72	-0.53	-30.96	0.61	2.75	3.92	2.98	1.90	1.72	0.53	0.96	0.61	1.72	0.53	0.96	0.61		
左 45	-47.06	-0.65	-46.13	0.89	3.31	4.28	4.10	2.55	2.06	0.65	1.13	0.89	2.06	0.65	1.13	0.89		
左 60	-61.92	-0.79	-61.30	1.21	3.00	4.45	7.07	3.97	1.92	0.79	1.30	1.21	1.92	0.79	1.30	1.21		
上 30	-0.35	32.27	0.72	31.53	1.75	3.20	2.61	2.87	0.35	2.27	0.72	1.53	0.35	2.27	0.72	1.53		
上 45	-0.37	45.35	1.53	45.75	2.84	3.08	3.34	3.48	0.37	0.35	1.53	0.75	0.37	0.35	1.53	0.75		
下 30	0.97	-34.35	1.42	-35.17	1.25	3.51	1.74	4.65	0.97	4.35	1.42	5.17	0.97	4.35	1.42	5.17		
下 45	1.76	-49.50	3.33	-51.11	2.51	2.86	3.41	3.84	1.76	4.50	3.33	6.11	1.76	4.50	3.33	6.11		

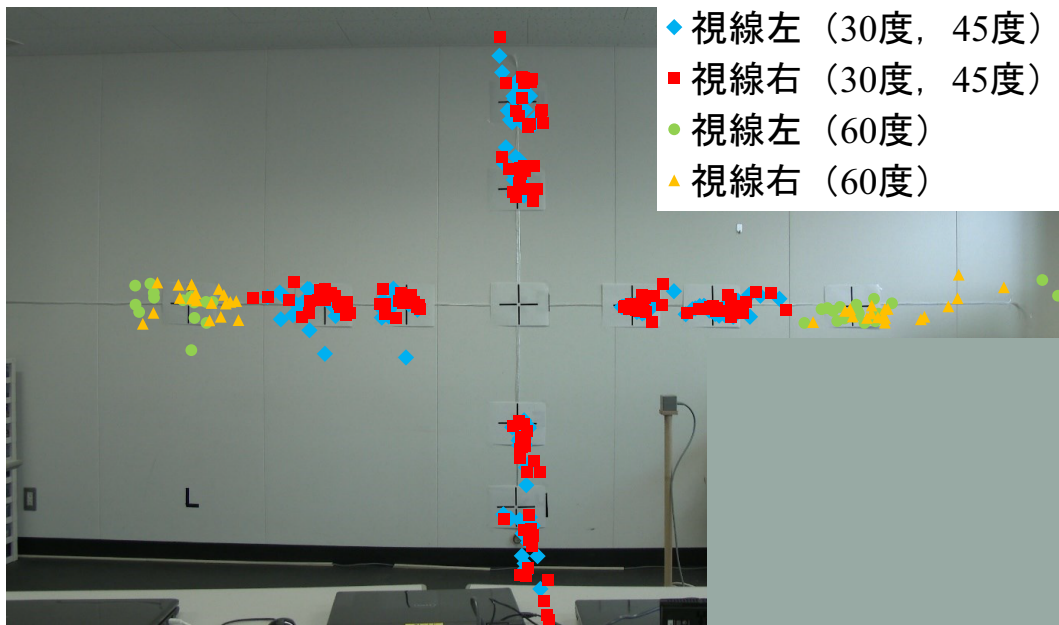


図 2.9: 注視位置の散布図.

また別の理由として、眼球運動測定装置であるアイマークレコーダ自体の較正精度が考えられる。眼球の検出は、眼球表面の角膜反射像の撮像に基づき、角膜反射像の中心を注視位置として検出する。被検者が視野の広い範囲の端を見るほど、角膜反射像が楕円形に変化して検出が不安定になり、精度が低下する。したがって、角膜反射像が楕円形に変化しても十分な精度で眼球運動を取得できる新しい構成の眼球運動測定装置を用いることでも誤差が小さくなると考えられる。

精度評価実験の 1 m の視距離では、同じ視角 1 度であっても中央 0 度付近と左右端の ± 60 度付近で壁面上の距離に約 4 倍の違いが生じ、相対的に大きな誤差となる。この位置誤差の一例として、10 人の被検者の注視位置の散布図を図 2.9 に示す。水平方向 ± 60 度の視標位置に対して散布図は 30 度、45 度と比較して大きなものとなっている。上述した理由により、同じ 1 度の誤差でも 2 次元平面上の壁面では端の方のズレが大きな違いとして現れるためである。2 次元平面に射影する際には、この点について考慮する必要があるが、本章で開発した計測装置で広い範囲の視線計測を実現できたと考えている。

2.6 まとめ

本章では、様々な視聴方法における視線計測実験を行なうための前段階の視線計測システムとして、広い範囲の計測が可能な眼球運動と頭部運動の同時計測装置を提案した。眼球センサと頭部センサを使用し、取得データから視線を算出し、外部から入力する視野映像上に重ね合わせて、視線を表示する装置である。本装置を用いて、水平方向 ± 60 度、垂直方向 ± 45 度の広い範囲で視線計測及び精度評価実験を行ない、注視位置と視標との誤差を求め、評価した。その結果、水平方向では ± 30 度の視標位置で約1.7度以内、 ± 45 度の視標位置で約2.0度以内、 ± 60 度の視標位置で約2.4度以内の誤差を得ることができ、垂直方向では、 ± 30 度の視標位置で約5.2度以内、 ± 45 度の視標位置で約6.1度以内の誤差を得ることができた。垂直下方向で少し誤差が大きい結果となったが、これは眼球センサの較正精度や磁気センサの取り付け位置が原因と考えられる。広い範囲の視線計測を可能とする装置全体の精度としては十分な結果を得られたことを確認し、本装置の有効性を確認した。

第3章

視聴位置の違いに対する注視点の分析

第1章で述べたように、本研究では、映像視聴における以下の3つの視聴方法の違いについて視線計測実験を行なう。

- (a) 視聴位置（視聴距離、視聴方向）の違い
- (b) 音響システム（モノラル、ステレオ、サラウンド）の違い
- (c) 再生速度（0.75～3.0倍速）の違い

本章では、このうち視聴位置（視聴距離、視聴方向）を変化させた際の視線計測実験を行なう。

以降、3.1節で研究の背景について述べる。3.2節では、映像視聴における視聴位置の検証の有用性について述べる。3.3節では、視線計測実験の実験手法について述べる。3.4節では、予備実験として従来のフルハイビジョンにおける標準観視距離での実験及びその結果について述べる。3.5節では、本実験である視聴位置を変化させた視線計測実験及びその結果について述べ、3.6節で考察する。最後に3.7節で本章をまとめる。

3.1 はじめに

映像技術の発達により、広く普及しているフルハイビジョンを超える4K・8K解像度のような超高精細映像が登場し、注目を集めている[71–75]。このことから、一般家庭内においても大画面テレビを用いて、超高精細映像を視聴することが可能になりつつあり、よ

り豊かな映像視聴体験を得られる環境が整いつつある。そこで本章では、そのような超高精細映像の視聴における視聴方法の違いの検証として、視聴位置（視聴距離、視聴方向）について着目する。様々な視聴位置から映像視聴する際に生じる視線の違いを定量的に検証するため、注視点の分析を行ない、その関係性について検証した結果について述べる。

本章における貢献は、映像視聴時の視聴位置に関して注視点分布の違いの分析から、その影響を明らかにすることである。

3.2 映像視聴における視聴位置の検証の有用性

4K・8K 解像度の映像は、画素構造の細かさからこれまでよりも映像を近距離で見ることが可能である。従来のフルハイビジョンにおける標準観視距離（視聴距離）は、ITU-R BT.710 において画面の高さの3倍（3H）とすることが規定されている [59]。この観視距離は、1.0の視力をもつ人が画面上の走査線の粗さを知覚できない距離である [48]。4K・8K 解像度の映像においては、走査線の本数がフルハイビジョンと比較して2倍・4倍と増え、画素構造が細くなる。このことから、4K 解像度では画面の高さの1.5倍（1.5H）、8K 解像度では画面の高さの0.75倍（0.75H）の観視距離が適当だとされている [60,61]。観視画角としては、従来のフルハイビジョンの水平約30度から4K 解像度では水平約60度、8K 解像度では水平約100度である。このため、視野中の広い範囲で映像を視聴することが可能である。

人の眼球の特性に着目すると、網膜の視力の高い場所は中心窩のみである。そのため眼球運動により、視野内の情報の中から見たい情報を中心窩に結像させる。つまり、観視画角が広がっても視力が相対的に低い周辺視野が広がるだけで、興味がある領域の詳細な情報は眼球運動により、中心窩近辺で受容する。以上のことから、超高精細映像を近距離かつ広画角で視聴しても、従来の映像をより遠方から狭い画角で視聴しても、平均的に見る画面上の注視点は変わらないことが推察される。しかし、このようなことを検証した実験はない。もしこれが示唆されると、映像視聴時の評価をする際に画角の大きさについて、配慮する必要が生じる。このため、注視点の分析から視聴距離が近くなったことによる、映像視聴への影響を検証することは、映像視聴時の評価の面から有用であると考えられる。

この視聴距離に関する研究としては、画面サイズや表示輝度、解像度、映像内容などを

パラメータとして視聴距離の違いを検証したものがある [48–51]。これらの研究は、映像を表示するディスプレイの中心から視聴したものである。しかし、実際に家庭におけるテレビの観視条件を調査した研究において、テレビに対して右側からの観視が約 37%、左側からの観視が約 60% を占めているという報告がある [52]。このように、一般家庭内において様々な方向からテレビを視聴するという事は、視聴距離と視聴方向という視聴位置の影響の検証が視聴環境構築にとって重要であると考えられる。

超高精細映像では、ディスプレイに対する視聴距離が従来よりも近づき、広い観視画角で映像を視聴することが可能である。このように観視画角は、視聴距離、視聴方向といった視聴位置により変化するものである。前述のように実際にテレビを視聴する際には、画面に対して様々な位置から視聴している [52]。そのため、視聴位置による影響を明らかにすることで、映像制作において撮影手法や画面作りの重要な要素になると考えられる。

このような背景から本章では、視聴位置（視聴距離、視聴方向）の影響の検証として、映像視聴時の視線の動きを計測し、その注視点について分析する。テレビ画面を視聴した際の注視点の分析は様々なものが行なわれている [22, 23]。しかし、4K 解像度のような超高精細映像を用いたものや大画面ディスプレイを近距離で視聴させたものはない。また、実際に視聴距離を変えたり、視聴方向を左右に移動したりした場合には、平均的に見る画面上の注視点が変化する可能性が考えられる。一方で、視聴位置をパラメータとして視聴者が注視している画面上の位置を測定した研究は行なわれていない。このような測定により、平均的に見る画面上の注視点に大きな変化が見られた場合には、テレビ番組や映像作品で映像制作側が視聴者に見せたい画像内容と視聴者が見る画像内容が、視聴位置によって変わってしまうおそれがある。

従来の注視点の分析では、あご台の上に視聴者を固定して眼球運動のみを測定する実験が多い。しかし、近距離かつ広画角で見ることが可能な超高精細映像では、有効視野の範囲（水平方向 ± 15 度以内、垂直下方向 12 度以内、垂直上方向 8 度以内 [76]）より画角が広いため、眼球運動だけで画面全体を見ることができない。このため、映像を視聴する際には眼球運動だけでなく、頭部運動も働かせることにより広範囲の画面を見ていると報告されている [77]。そこで本章では、第 2 章で開発した眼球運動と頭部運動を同時計測する計測装置を用い、広い画角の範囲を計測可能な状態で視線を計測し、注視点の分析を行なう。

表 3.1: 映像内容.

映像種類	時間	内容
映像 1	8 分	東京都港区の観光名所である 東京タワーや泉岳寺、お台場などを ナレーション風に紹介する映像
映像 2	9 分 30 秒	学園祭の露店や屋内展示の様子を 音楽に乗せて字幕付きで撮影した映像
映像 3	3 分	イタリアの海や街並み、住人の生活が 音楽と共に流れる映像

3.3 実験方法

本節では、視線計測実験の手法の概要について述べる。以降、実験映像、視聴位置、視線計測方法、注視点分析手法について順に述べる。

3.3.1 実験映像

表 3.1 に示す 3 種類の映像を提示する。使用した映像は全て 4K 解像度 (3,840×2,160 画素) のもので、このうち映像 1, 2 は、4K デジタルビデオカメラ FDR-AX1 (ソニー (株)) を用いて 4K 解像度で撮影した映像素材をノンリニア編集ソフトの VEGAS PRO 12 (ソニー (株)) を用いて筆者が編集したものである。映像 3 は 4K 出力が可能である dynabook T954 ((株) 東芝) 付属の 4K 解像度サンプル映像である。

映像 1, 2 は、画面全体に興味対象が映し出されるように編集したものであり、観光名所や学園祭のシーンから構成されている。この映像だけでは実験結果の妥当性に課題が残るため、dynabook T954 に付属するプロの映像技術者が制作した 4K 解像度の自然映像を素材として採用した。各映像のカット例を図 3.1 に示す。映像 3 については、著作権の関係上、ぼかし処理を行なったものを例示する。この映像の表示には、4K テレビ REGZA55X3 ((株) 東芝) を使用し、その輝度値と室内照度を表 3.2 に示す。



(a) 映像 1 のカット例.



(b) 映像 2 のカット例.



(c) 映像 3 のカット例.

図 3.1: 各映像シーンのカット例.

表 3.2: ディスプレイ条件.

ディスプレイ	REGZA 55X3 ((株) 東芝)
画面サイズ	55 インチ (高さ 68 cm, 幅 121 cm)
画面輝度	最小: 0.25 cd/m ² , 最大: 277.7 cd/m ²
室内照度	15.5 Lux

3.3.2 視聴位置

視聴距離として、0.75H (51 cm) と 1.5H (102 cm) の2条件を用意し、予備実験として3H (204 cm) での実験を行なう。この条件は、標準観視距離がフルハイビジョンでは画面の高さの3倍 (3H)、4K 解像度では画面の高さの1.5倍 (1.5H)、8K 解像度では画面の高さの0.75倍 (0.75H) であることから選定した。視聴方向として、画面中心と、左右方向にそれぞれの画面幅の1/4の距離を移動した3条件を設定する。家庭におけるテレビの観視条件を調査した研究において、テレビに対して右側からの観視が約37%、左側からの観視が約60%を占めているという報告 [52] から、左右方向の条件を選定した。その左右方向の位置として、視聴距離0.75Hにおいて、画面の端が水平方向±60度以内に収まる距離である画面幅の1/4と設定した。この視聴位置の概観を図3.2に示す。予備実験を含め、視聴距離3条件×視聴方向3条件=9か所の視聴位置を設定する。

3.3.3 計測方法

実験参加者の視線の測定には、第2章で開発した視線計測システムを用いる。眼球センサにはアイマークレコーダ EMR-8B ((株) ナックイメージテクノロジー)、頭部センサには磁気センサ Patriot (Polhemus) を使用した。磁気センサのソースコイルは実験参加者右側の木柱に固定し、センサはアイマークレコーダの帽子の頭頂部に取り付けた。実験風景を図3.3に示す。実験参加者の自由な視線を計測するため、自然な状態で映像を視聴するように指示をした。

本実験は、東海大学で実施し、同大学の「人を対象とする研究」に関する倫理委員会規定に従って実施した。

3.3.4 注視点分析手法

計測した視線データから、移動速度に基づいて注視点を定義し、抽出した。そのための移動速度の基準として、実験参加者は映像を自由に視聴していることから、映像に対する注視と視線移動の分類のために用いられているしきい値である10度/秒を採用した [78]。この視線移動速度が10度/秒以下、0.15秒以上続いた区間を1つの注視点として抽出した。注視点の解析について、山田らは走査線525方式とハイビジョンの注視点分布の比較

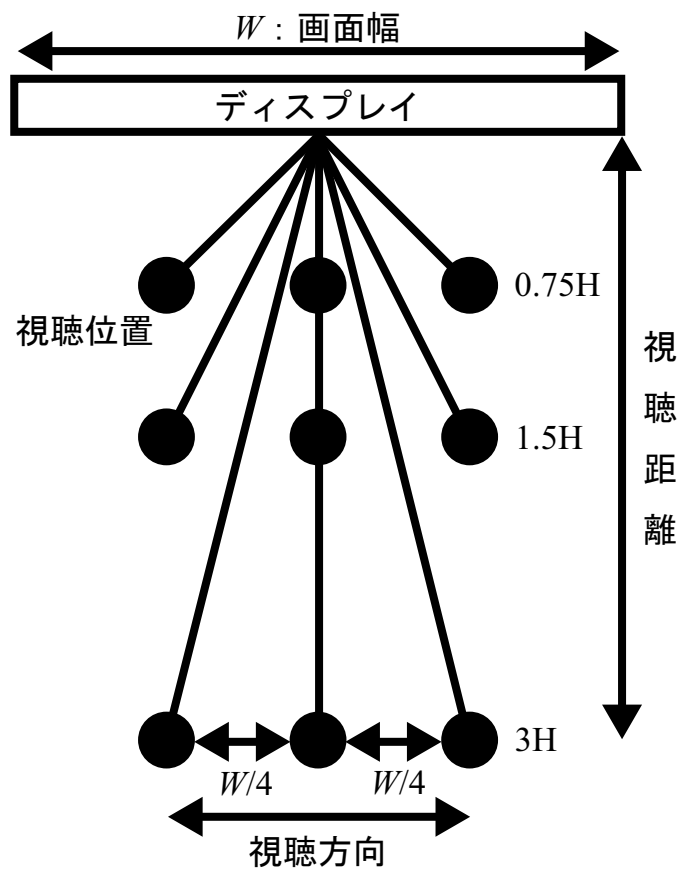


図 3.2: 視聴位置（視聴距離，視聴方向）条件.

を注視点の標準偏差から行なっている [79]. また，平均注視点が画像のほぼ中央に偏る傾向は Center bias と呼ばれており，Tseng [80] らはその要因について，注視点分布を注視点の標準偏差とヒートマップから解析している．以上の研究以外にも多くの研究が注視点分布の解析について，平均位置と標準偏差で行なっている．これらの研究結果と比較するには，平均位置と標準偏差が適切と考え，平均注視点と標準偏差を分析する．

3.4 視聴距離 3H における予備実験

本実験に先立つ予備実験として，本節では従来のフルハイビジョンの標準観視距離である 3H (204 cm) の条件で実験を行なった結果について述べる．以降，実験手法，実験結果について述べる．



図 3.3: 実験風景（映像 3 視聴時）.

3.4.1 実験方法

実験に使用した映像及び測定方法は 3.3 節で述べた通りである．視聴距離を $3H$ ，視聴方向を画面中心と，左右方向に画面幅の $1/4$ の距離だけ移動した 3 条件を視聴方向とする．実験参加者は 20 代大学生 12 名（男性 7 名，女性 5 名），視力は 1.0 以上が 9 名， $0.7 \sim 1.0$ が 3 名（矯正視力を含む）である．各視聴位置につき 4 名の実験参加者で実験を行った．

3.4.2 実験結果

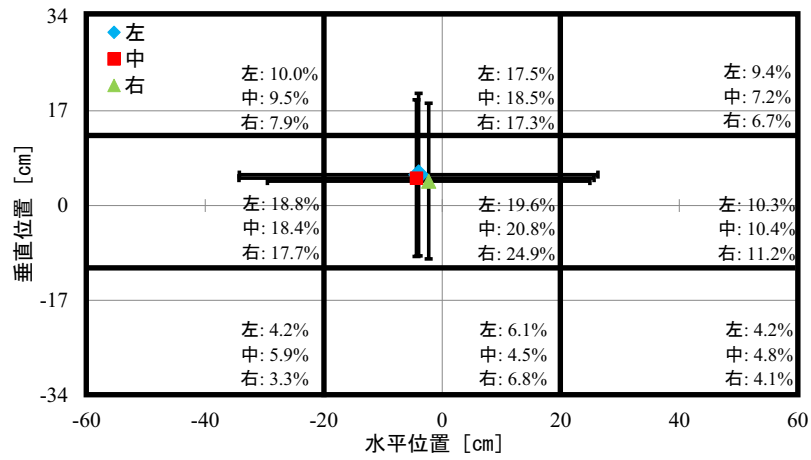
図 3.4 に 3 か所の視聴位置における注視点の平均値と標準偏差，注視点の割合を示す．視聴距離，視聴方向ごとに実験参加者 4 名の結果を平均した．外枠は画面の中心座標を $(0,0)$ とした際の画面サイズを表しており，右と上方向を正の値，左と下方向を負の値で表している．注視点の割合は画面を 9 分割して，その範囲に集まっている注視点の割合を

示している。一般に注視点分布の表示では、観察者から見込んだ画角を縦軸と横軸の表示に用いるが、後述する 1.5H, 0.75H の結果と比較しやすいように、画面上の位置として実寸で表示した。

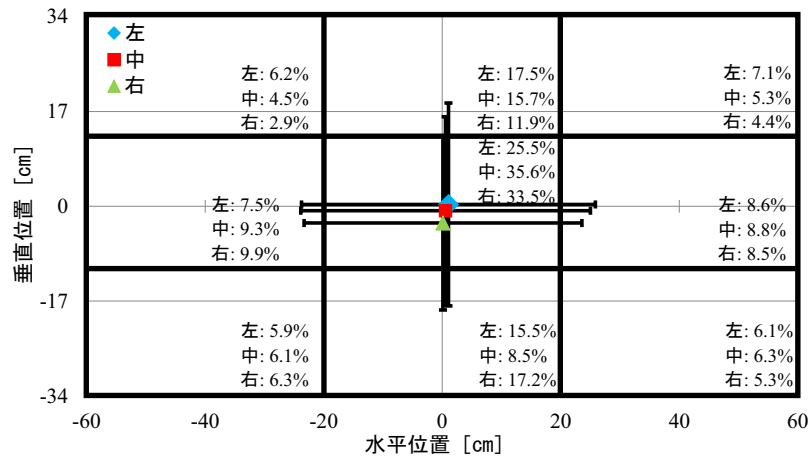
平均注視点について、映像 3 の視聴位置：左を除き、画面中央のほぼ同じ位置に集まっており、割合でも中央が一番高い結果となった。標準偏差については、水平方向が垂直方向よりも広がる結果となった。

図に示すように、各映像における平均注視点の違いは水平方向で最大約 4 cm、垂直方向で最大約 2 cm とごく小さなものであった。映像種類、視聴方向による違いを詳しく検証するため、水平方向と垂直方向の違いに分けて 2 要因分散分析を行なった。その結果、水平方向、垂直方向ともに映像種類、視聴方向の主効果、交互作用が有意であった（表 3.3, 3.4）。この結果から視聴方向の効果を検証するため単純主効果の検定を行なった。その結果においても単純主効果が有意であった（表 3.5, 3.6）。Ryan 法による多重比較を行なった結果、有意差が見られた組み合わせを表 3.5, 3.6 の右端の列に示す。表中の不等号について、その不等号の向きに有意な差があることを示している。

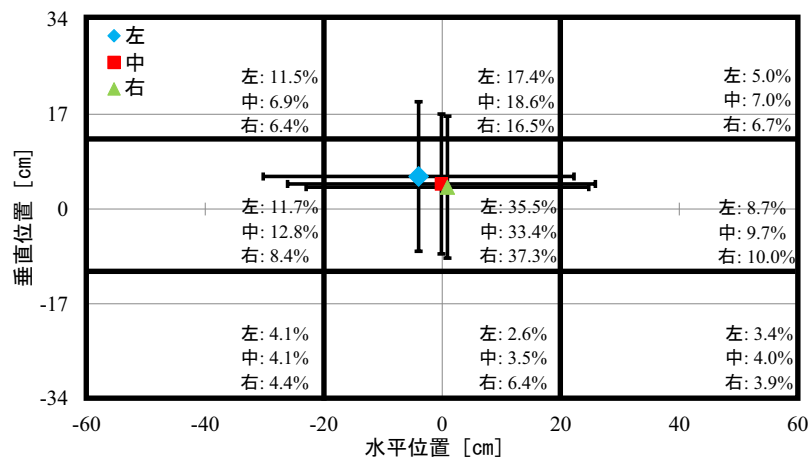
以上の結果より、従来のハイビジョンの標準観視距離である 3H では、映像ごとの平均注視点は画面中央付近に集まり、映像種類と視聴方向により有意な違いがあることが示された。しかし、有意差は示されたものの、実際の数値の差としては、水平方向で最大約 4 cm、垂直方向で最大約 2 cm であった。この値は、画面サイズに対してごく小さなものである。以上のことをふまえ、次節では本章の目的である、広い画角の映像を視聴する際の視聴位置の効果について、4K 解像度の標準観視距離 1.5H, 8K 解像度の標準観視距離 0.75H での実験により検証する。



(a) 映像 1.



(b) 映像 2.



(c) 映像 3.

図 3.4: 各映像における平均注視点と標準偏差, 注視点の割合 (視聴距離: 3H).

表 3.3: 水平方向における映像種類 × 視聴方向の 2 要因分散分析結果 (**: $p < 0.01$).

要因	F 値	検定
映像種類	$F(2, 574837) = 986.33^{**}$	主効果
視聴方向	$F(2, 574837) = 202.96^{**}$	
映像種類 × 視聴方向	$F(4, 574837) = 204.77^{**}$	交互作用

表 3.4: 垂直方向における映像種類 × 視聴方向の 2 要因分散分析結果 (**: $p < 0.01$).

要因	F 値	検定
映像種類	$F(2, 574837) = 8,121.03^{**}$	主効果
視聴方向	$F(2, 574837) = 767.49^{**}$	
映像種類 × 視聴方向	$F(4, 574837) = 84.28^{**}$	交互作用

表 3.5: 水平方向における単純主効果の検定, 多重比較の結果 (**: $p < 0.01$).

映像種類	要因	F 値	有意差
映像 1	視聴方向	$F(2, 574837) = 91.70^{**}$	中央 < 左 < 右
映像 2	視聴方向	$F(2, 574837) = 16.19^{**}$	右 < 中央 < 左
映像 3	視聴方向	$F(2, 574837) = 504.61^{**}$	左 < 中央 < 右

(例: 左 < 右 ... 左の注視点が右の注視点よりも左にあることを示す.)

表 3.6: 垂直方向における単純主効果の検定, 多重比較の結果 (**: $p < 0.01$).

映像種類	要因	F 値	有意差
映像 1	視聴方向	$F(2, 574837) = 75.90^{**}$	右 < 中央 < 左
映像 2	視聴方向	$F(2, 574837) = 643.88^{**}$	右 < 中央 < 左
映像 3	視聴方向	$F(2, 574837) = 216.27^{**}$	右 < 中央 < 左

(例: 左 < 右 ... 左の注視点が右の注視点よりも左にあることを示す.)

3.5 視聴距離 0.75H・1.5H における実験

本節では、前節の視聴距離 3H における予備実験の結果を踏まえ、視聴距離 0.75H (51 cm), 1.5H (102 cm) の条件で実験を行なった結果について述べる。以降、実験方法とその結果について順に述べる。

3.5.1 実験方法

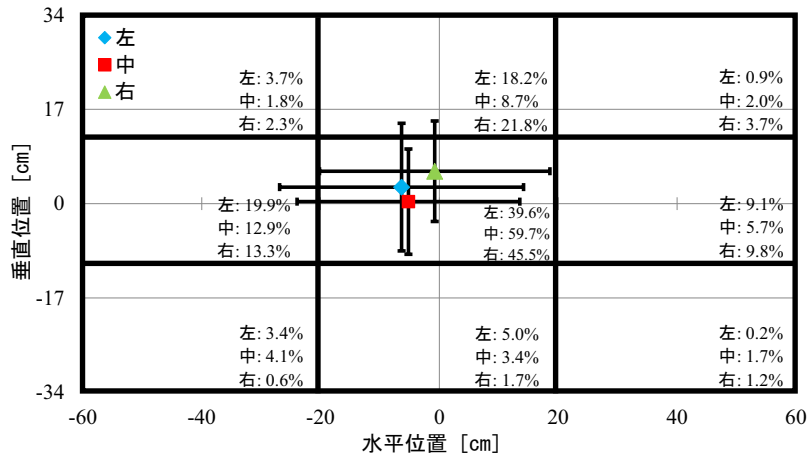
実験に使用した映像及び測定方法は 3.3 節で述べた通りである。実験参加者は 20 代大学生 30 名 (男性 18 名, 女性 12 名) である。視力は 1.0 以上が 16 名, 0.7~1.0 が 14 名 (矯正視力を含む) である。視聴距離 2 条件 × 視聴方向 3 条件 = 6 か所の視聴位置を設定した。それぞれの位置につき 3 名の実験参加者で実験を行なった。実験参加者 30 名の内, 6 名は 3 つの映像, 12 名は 2 つの映像, 12 名は 1 つの映像を視聴した。

3.5.2 実験結果

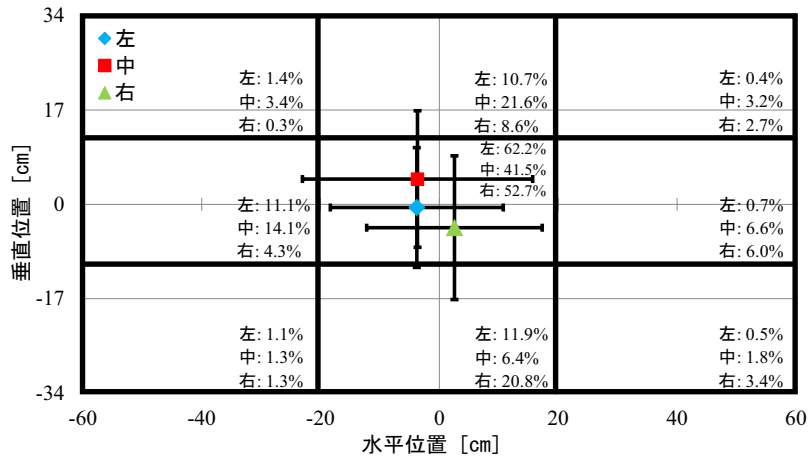
3H での予備実験と同様に、図 3.5 と図 3.6 に 6 か所の視聴位置における注視点の平均値と標準偏差、注視点の割合を示す。視聴距離、視聴方向ごとに実験参加者 3 名の結果を平均した。注視点の割合は画面を 9 領域に分割して、その領域内に集まっている注視点の割合を示している。

映像 1, 2, 3 ともに画面中央に平均注視点が集まった。注視点の割合で見ると、映像 1 の視聴距離 : 1.5H, 視聴方向 : 左を除いて (図 3.6 (a) の左では上中央の割合が一番高い) 画面中央が一番高いことが示された。標準偏差については、垂直方向よりも水平方向に広がる結果となった。一方で図からもわかるように、その画面中央においても 3H での結果と比較して明確に、最大で約 10 cm の違いが生じている。この 10 cm の差は、画面の幅の約 1/10 の大きさで、映像中の視対象の物体や人が変わる可能性がある大きさである。このことから、本章の目的である視聴位置 (視聴距離, 視聴方向) と映像種類をパラメータとして、水平方向と垂直方向の違いに分けて 3 要因分散分析を行なった。

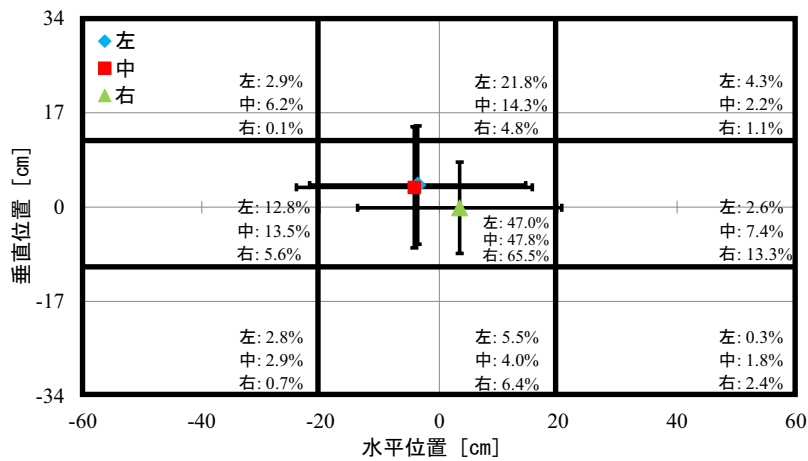
その結果、水平方向については、映像種類、視聴距離、視聴方向の主効果 (1 つの要因の水準間の有意差)、1 次の交互作用、2 次の交互作用が有意であった (表 3.7)。このことから、本章の目的である視聴距離、視聴方向の効果を明確に検証するため、各映像にお



(a) 映像 1.

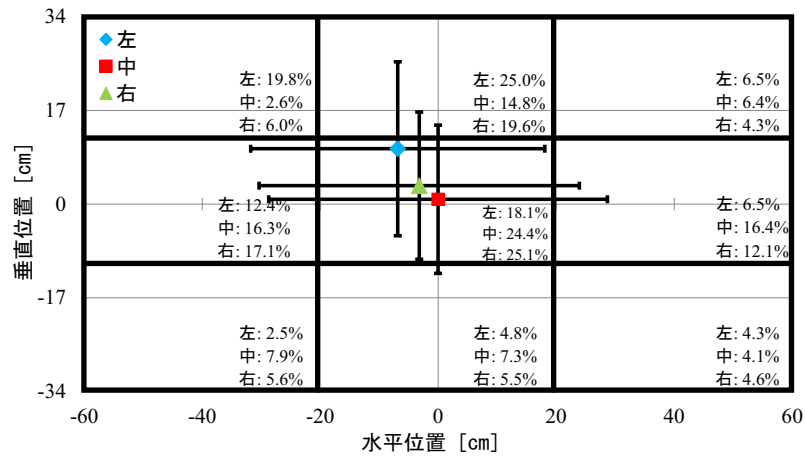


(b) 映像 2.

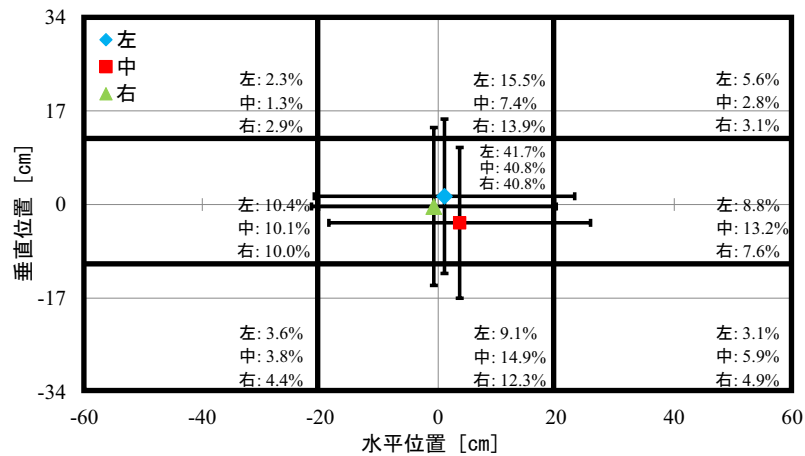


(c) 映像 3.

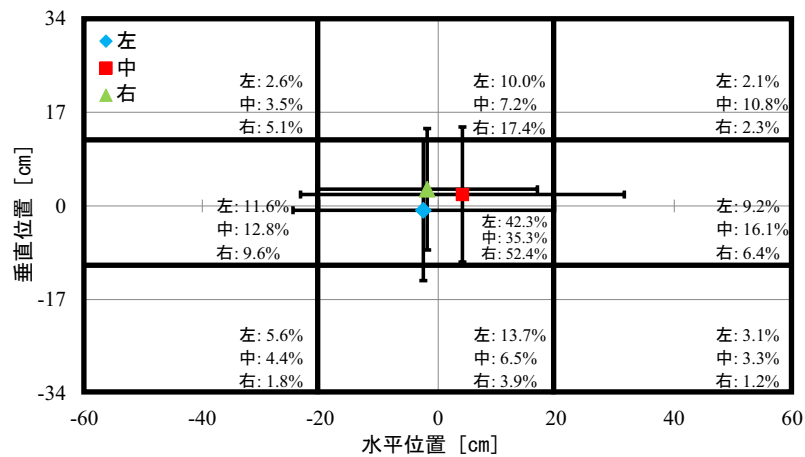
図 3.5: 各映像における平均注視点と標準偏差, 注視点の割合 (視聴距離: 0.75H).



(a) 映像 1.



(b) 映像 2.



(c) 映像 3.

図 3.6: 各映像における平均注視点と標準偏差, 注視点の割合 (視聴距離: 1.5H).

表 3.7: 水平方向における映像種類 × 視聴方向 × 視聴距離の 3 要因分散分析結果 (**: $p < 0.01$).

要因	F 値	検定
映像種類	$F(2, 112351) = 139.56^{**}$	
視聴方向	$F(2, 112351) = 134.85^{**}$	主効果
視聴距離	$F(1, 112351) = 82.48^{**}$	
映像種類 × 視聴方向	$F(4, 112351) = 6.85^{**}$	
映像種類 × 視聴距離	$F(2, 112351) = 12.46^{**}$	1 次の交互作用
視聴方向 × 視聴距離	$F(2, 112351) = 267.84^{**}$	
映像種類 × 視聴方向 × 視聴距離	$F(4, 112351) = 13.26^{**}$	2 次の交互作用

表 3.8: 水平方向における各映像の単純交互作用の検定の結果 (**: $p < 0.01$).

映像種類	要因	F 値
映像 1	視聴方向 × 視聴距離	$F(2, 112351) = 49.75^{**}$
映像 2	視聴方向 × 視聴距離	$F(2, 112351) = 97.56^{**}$
映像 3	視聴方向 × 視聴距離	$F(2, 112351) = 147.06^{**}$

ける単純交互作用（ある要因の特定の水準における交互作用）の検定を行なった。その結果、各映像において視聴方向 × 視聴距離の単純交互作用が有意であった（表 3.8）。単純・単純主効果（1 つ目と 2 つ目の要因の特定の水準における 3 つ目の要因の主効果）の検定の結果、ほぼすべての単純・単純主効果が有意であった（表 3.9）。Ryan 法による多重比較の結果から、有意差が見られた組み合わせを表 3.9 の右端の列に示す。表中の不等号について、その不等号の向きに有意な差があることを示している。その結果、視聴距離：0.75H において、自分の視聴方向に平均注視点が偏る傾向があった。

一方、垂直方向については、視聴距離以外の要因の主効果、1 次の交互作用、2 次の交互作用が有意であった（表 3.10）。このことから、水平方向と同様に視聴距離、視聴方向の効果を検証するため、各映像における単純交互作用の検定を行なった。その結果、各映像において視聴方向 × 視聴距離の単純交互作用が有意であった（表 3.11）。単純・単純主効果の検定の結果、ほぼすべての単純・単純主効果が有意であった（表 3.12）。Ryan 法に

表 3.9: 水平方向における単純・単純主効果の検定, 多重比較の結果 (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$).

映像種類	視聴方向	要因	F 値	有意差
映像 1	左	視聴距離	$F(1, 112351) = 0.80$	なし
	中央	視聴距離	$F(1, 112351) = 85.10$ **	$0.75H < 1.5H$
	右	視聴距離	$F(1, 112351) = 18.89$ **	$0.75H > 1.5H$
映像 2	左	視聴距離	$F(1, 112351) = 75.08$ **	$0.75H < 1.5H$
	中央	視聴距離	$F(1, 112351) = 169.81$ **	$0.75H < 1.5H$
	右	視聴距離	$F(1, 112351) = 34.06$ **	$0.75H > 1.5H$
映像 3	左	視聴距離	$F(1, 112351) = 4.07$ *	$0.75H < 1.5H$
	中央	視聴距離	$F(1, 112351) = 219.38$ **	$0.75H < 1.5H$
	右	視聴距離	$F(1, 112351) = 88.91$ **	$0.75H > 1.5H$

(例: $0.75H < 1.5H \dots 0.75H$ の注視点が $1.5H$ の注視点よりも左にあることを示す.)

映像種類	視聴距離	要因	F 値	有意差
映像 1	0.75H	視聴方向	$F(2, 112351) = 54.99$ **	左 < 中央 < 右
	1.5H	視聴方向	$F(2, 112351) = 74.21$ **	左 < 右 < 中央
映像 2	0.75H	視聴方向	$F(2, 112351) = 83.35$ **	左 < 右, 中央 < 右
	1.5H	視聴方向	$F(2, 112351) = 30.75$ **	右 < 左 < 中央
映像 3	0.75H	視聴方向	$F(2, 112351) = 114.93$ **	左 < 右, 中央 < 右
	1.5H	視聴方向	$F(2, 112351) = 84.68$ **	左 < 中央, 右 < 中央

(例: 左 < 右 \dots 左の注視点の注視点よりも左にあることを示す.)

よる多重比較の結果, 有意差が見られた組み合わせを表 3.12 の右端の列に示す. 表中の不等号について, その不等号の向きに有意な差があることを示している.

以上の結果から, 視聴距離 0.75H と視聴距離 1.5H では視聴距離, 視聴方向の互いの関係により画面上の注視点に有意な違いがあることが示された.

表 3.10: 垂直方向における映像種類 × 視聴方向 × 視聴距離の 3 要因分散分析結果 (**: $p < 0.01$).

要因	F 値	検定
映像種類	$F(2, 112351) = 533.47^{**}$	
視聴方向	$F(2, 112351) = 92.36^{**}$	主効果
視聴距離	$F(1, 112351) = 0.00$	
映像種類 × 視聴方向	$F(4, 112351) = 188.04^{**}$	
映像種類 × 視聴距離	$F(2, 112351) = 63.04^{**}$	1 次の交互作用
視聴方向 × 視聴距離	$F(2, 112351) = 188.15^{**}$	
映像種類 × 視聴距離 × 視聴方向	$F(4, 112351) = 286.77^{**}$	2 次の交互作用

表 3.11: 垂直方向における各映像の単純交互作用の検定の結果 (**: $p < 0.01$).

映像種類	要因	F 値
映像 1	視聴方向 × 視聴距離	$F(2, 112351) = 228.34^{**}$
映像 2	視聴方向 × 視聴距離	$F(2, 112351) = 382.88^{**}$
映像 3	視聴方向 × 視聴距離	$F(2, 112351) = 150.47^{**}$

3.6 考察

本章では 4K 解像度映像を用い、視聴位置（視聴距離、視聴方向）をパラメータとして実験を行なった。具体的には、視聴者が見ている画面上の位置を明らかにするため、注視点の分布を平均注視点とその標準偏差から分析した。本節では、予備実験である視聴距離 3H における実験結果と本実験である視聴距離 0.75H、1.5H における実験結果の考察を述べる。以降、平均注視点、注視割合、視聴方向に関する考察を順に述べる。

3.6.1 平均注視点

映像視聴時の注視点の分布の平均値と標準偏差を算出した結果、どの条件においても画面中央部に平均値が集まることが示された。この理由としては、視聴距離や視聴方向が変

表 3.12: 垂直方向における単純・単純主効果の検定, 多重比較の結果 (**: $p < 0.01$).

映像種類	視聴方向	要因	F 値	有意差
映像 1	左	視聴距離	$F(1, 112351) = 477.50^{**}$	$0.75H < 1.5H$
	中央	視聴距離	$F(1, 112351) = 2.65$	なし
	右	視聴距離	$F(1, 112351) = 59.43^{**}$	$0.75H > 1.5H$
映像 2	左	視聴距離	$F(1, 112351) = 40.74^{**}$	$0.75H < 1.5H$
	中央	視聴距離	$F(1, 112351) = 595.90^{**}$	$0.75H > 1.5H$
	右	視聴距離	$F(1, 112351) = 141.63^{**}$	$0.75H < 1.5H$
映像 3	左	視聴距離	$F(1, 112351) = 215.59^*$	$0.75H > 1.5H$
	中央	視聴距離	$F(1, 112351) = 21.46^{**}$	$0.75H > 1.5H$
	右	視聴距離	$F(1, 112351) = 94.55^{**}$	$0.75H < 1.5H$

(例: $0.75H < 1.5H \dots 0.75H$ の注視点が $1.5H$ の注視点よりも下にあることを示す.)

映像種類	視聴距離	要因	F 値	有意差
映像 1	0.75H	視聴方向	$F(2, 112351) = 143.77^{**}$	中央 < 左 < 右
	1.5H	視聴方向	$F(2, 112351) = 429.66^{**}$	中央 < 右 < 左
映像 2	0.75H	視聴方向	$F(2, 112351) = 371.48^{**}$	右 < 左 < 中央
	1.5H	視聴方向	$F(2, 112351) = 113.20^{**}$	中央 < 右 < 左
映像 3	0.75H	視聴方向	$F(2, 112351) = 97.02^{**}$	右 < 左, 右 < 中央
	1.5H	視聴方向	$F(2, 112351) = 74.96^{**}$	左 < 中央 < 右

(例: 左 < 右 \dots 左の注視点が右の注視点よりも下にあることを示す.)

化したとしても自分の体の位置に依存して注視するのではなく, 視聴している画面の中心を基準に注視することが示唆される. しかし, この平均値には視聴距離 3H と視聴距離 0.75H, 視聴距離 1.5H の間に違いが見られた. 視聴距離 3H では, 映像種類, 視聴方向によらず平均注視点はほぼ同じ位置に集まる傾向が示された. 一方で, 分散分析の結果では有意差が見られたが, 画面上の位置の差は極めて小さいものであった. 視聴距離 0.75H, 視聴距離 1.5H では, 3H と比較して視聴位置によって平均注視点に差が大きくなる傾向が見られた. そこで映像種類, 視聴距離, 視聴方向を要因とした 3 要因分散分析を行ない, 有意差が示された.

映像ごとに行った単純交互作用や単純・単純主効果の結果より, 視聴距離, 視聴方向は

相互に作用するものであった。この関係性から、同一映像だとしてもその注視点の平均値に有意な差があることが示されている。視聴者が映像を見ている際の注視点の中心は視聴距離、視聴方向に依存していることを示している。視聴距離や視聴方向の違いに起因する体の向きの違いが、有意差として現れた可能性が考えられる。

3.6.2 注視割合

図 3.4–3.6 の 9 領域に分割した領域内の注視点の割合について考察する。実験結果では、画像中央領域が最も高くなる傾向があったが、それ以外では左中央領域に高めの傾向が見られた。

画面中央領域が最も高くなる傾向は、“Center bias” と呼ばれる一般的に静止画像を見る際にサッカードの方向や注視点が画像のほぼ中央に偏る傾向と一致している。Tseng らの論文 [80] ではこの Center bias をもたらす要因として、“Photographer bias” [81], “Viewing strategy” [82], “Orbital reserve” [83], “Center of screen bias” [83], “Motor bias” [84] があると述べている。Photographer bias は、写真家が興味のある対象や俳優をごく自然に画面の中心近くに置く傾向のことである。Viewing strategy は人々が Photographer bias に頻繁に接した結果、最も注意を引く対象が画面の中央にあることを学習して、他の位置より画像の中央に視線を向ける視線戦略を多用することである。Orbital reserve は、最初の軌道上の眼球位置がサッカードの潜時や振幅に影響を与えることである。また、Center of screen bias は、中央の軌道位置に眼球運動を初期化することを好む傾向を示すことである。これにより、眼筋の駆動範囲の限界に達するのを防ぎ、次の指標に到達するための柔軟性を与えていると言われている [85]。Motor bias は、人が長いサッカードより短いサッカードを好む傾向である。Tseng らは、これら Center bias をもたらす最も大きな要因は Photographer bias であり、それに起因する Viewing strategy も大きく関わり、Motor bias はあまり貢献しないと報告している。さらに Orbital reserve と Center of screen bias についても追加実験を行ない、Center bias に貢献するもののその貢献度は Photographer bias より 1 桁小さく、Center bias の要因が Photographer bias とそれに慣らされた Viewing strategy であると結論づけている。本章の結果においても、画面のほぼ中央を注視しており、これらの結果と矛盾しないことから Center bias が効いていたと考えられる。

3.6.3 視聴方向

視聴方向に着目すると、表 3.9 に関して言及したように、視聴距離：0.75H では他の視聴距離と比較して、自分の視聴方向に平均注視点が偏る傾向があった。その理由について考察する。視聴距離：3H では、図 3.4 の平均注視点の結果から、映像 3、視聴方向：左を除き、視聴方向によらず平均注視点はほぼ中央である。視聴距離：1.5H（図 3.6）においても、必ずしも視聴方向順に平均注視点は並ばない。図 3.5 と 3.6 の平均注視点を比べると、映像 1、視聴方向：左（図 3.6 (a)）を除き、1.5H では 0.75H より平均注視点は中央に集まる傾向が見られた。より画面に対して近距離である 0.75H では平均注視点は視聴方向に依存し、1.5H ではあまり依存せず 3H では一例を除き依存しないことが考えられる。この理由の 1 つとして、画面に対する物理的な近さが考えられる。視聴距離：0.75H では、51 cm と実験参加者のほぼ目の前で映像が映し出される。そのため、自分の視聴位置の近くを優先的に見ていたことが考えられ、反対側へあまり視線を動かさなかった可能性が考えられる。

表 3.12 の垂直方向における結果では、水平方向と比べ、視聴方向により平均注視点には一定の傾向が見られなかった。この理由としては、画面の上方から見下ろす、もしくは下方から見上げるといった視聴方法がなかったため、分析値の違いとして大きく影響するものではなかったことが考えられる。しかし、実際の劇場は、席が段差状に配置されているため、スクリーンを下から見上げることや上から見下ろすことがある。そのため、本実験で検証した前後左右の方向の視聴位置の変化に加え、上下方向の変化についても、今後検証する必要がある。

3.7 まとめ

本章では、第 1 章で述べた 3 つの視聴方法の違いのうち、視聴位置（視距離、視聴方向）の違いについて視線計測実験を行ない、注視点の分析を行なった。視聴距離を 0.75H、1.5H、3H の 3 条件、視聴方向を画面中心及び、左右に画面幅の 1/4 移動した 3 条件に設定し、3 種類の映像視聴時の視線の動きを眼球運動と頭部運動の測定から検証した。その結果、注視点の割合は画面中央に集まることが示された。平均注視点に関して、すべての視聴距離、映像種類、視聴方向の間に有意差が見られた。視聴距離 3H において、この

差は極めて小さく、0.75H、1.5Hにおいては、映像種類、視聴距離、視聴方向の互いの関係によりそれぞれの条件で、画面上の注視点に3Hよりも有意な違いがあることが示された。以上の結果から、視聴位置は注視点を変化させることが示され、映像視聴環境の整備や映像制作の際に視聴位置を考慮する必要があることを示した。具体的に考慮すべき視聴位置は、映像の特徴によって変化するため一様に決めることができない。しかし、本実験の結果から少なくとも、注目させたい人物や物体を正確に着目させるため、他の人物や物体を近づけ過ぎないこと、画面の端に重要な視対象を配置しないことで、視聴位置の変化による注視点位置の変化を抑制できる可能性が示唆された。

第4章

音響システムの違いに対する注視点の分析

第1章で述べたように、本研究では、視聴方法における以下の3つの視聴方法の違いについて視線計測実験を行なう。

- (a) 視聴位置（視聴距離，視聴方向）の違い
- (b) 音響システム（モノラル，ステレオ，サラウンド）の違い
- (c) 再生速度（0.75～3.0倍速）の違い

本章では、このうち音響システム（モノラル，ステレオ，サラウンド）を変化させた際の視線計測実験を行なう。

以降、4.1節で研究の背景について述べる。4.2節では、音響刺激と視覚の関係性の関連研究について述べる。4.3節では、音響システムを変化させた視線計測実験について述べる。4.4節で実験結果について述べ、4.5節で考察する。最後に4.6節で本章をまとめる。

4.1 はじめに

近年の4K・8K解像度の映像表示技術やサラウンド（マルチチャンネル）音響システムの発展、テレビの大画面化やホームシアタの普及により、新しい形態の映像の視聴を楽しむことが可能になりつつある。この新しい形態の映像の主要要素として、超高精細映像とサラウンド音響が挙げられる。

4K・8K解像度の超高精細映像では、高精細な画素構造がある。標準観視距離（視力

1.0を有する視聴者が映像視聴時に、画素構造が見えなくなる距離)が、従来の高精細映像(フルハイビジョン:2K)の提示時より画面に近くなる(Hを画面の高さとすると、好ましい観視距離は4K:1.5H, 8K:0.75H)。このことから、近距離での視聴が推奨され、視野内で広角の映像を見ることが可能である。

一方、サラウンド音響では、従来のステレオスピーカ(2.0ch)に、リアスピーカやバックスピーカなどスピーカの数を追加し(5.1ch/7.1ch/22.2ch)、視聴者を包み込むように配置することで、臨場感がある音響空間を構築することが可能である。このうち、5.1ch, 7.1chは水平方向など同じ平面内にスピーカを配置する。一方で、22.2chでは垂直方向にもスピーカを配置して上下方向の音像移動を可能にするもので、4K・8Kで新たに加えられた規格である。

このような新しい形態の映像の視聴を提供する環境において、人が映像視聴時に示す生体反応を計測して分析することは、映像制作や映像視聴環境の設計に有用である[18]。本章では、異なる音響条件(音が響く効果の違い)で大画面の映像を視聴した際の視線を計測し、注視点の分布からサラウンド音響が映像視聴に与える効果を分析する。

視聴者を包み込むようにリアスピーカやバックスピーカなどを配置したサラウンド音響では、視聴者後方から鳴る音に対して注意が引き寄せられることにより、音の広がりを感じるようになると考えられる。この音の広がりにより、視聴者は従来のモノラルやステレオ音響と比較して、広く視線を動かすことが予想される。

そこで本研究ではサラウンド音響により、注視点の分布が広がるという仮説を立てた。異なる音響での視線を計測し、注視点の分布を分析することで、人の視覚に対する聴覚の作用の機構を解明するための基礎知識となる情報を得る。その結果が映像制作者のための音響システムを用いた視聴環境構築に有用となる可能性がある。

本章における貢献は、モノラルやステレオ音響に比べて、サラウンド音響により視聴者の注意が広がることに関して注視点分布の違いの分析から音響と視覚の関係性を明らかにすることである。

4.2 音響刺激と視覚の関係性

音響と視覚の関係については、音と視覚的注意の関係性に関する研究[53–55]があり、聴覚と視覚が相互に影響を受けることが報告されている。音が鳴る方向を認識する音像定

位と視覚の研究としては、腹話術効果を検証したものがある [86, 87]. 腹話術効果とは、音が鳴っている音像位置と視覚刺激の位置が多少ずれていても視覚刺激から音が鳴っていると知覚することがある効果である。視覚刺激と音像位置の空間的距離が小さく、提示タイミングが一致しているほど生じることが報告されている。また、音像位置と視覚刺激の差が 20 度未満であれば、視覚刺激の方向へ音像判断が引き寄せられることが報告されている [88]. サラウンド音響ではあらゆる方向から音が聞こえ、この 20 度の差を大きく上回る可能性がある。このような状況下における音像と視覚刺激に関する基礎的な知見が少ないことが課題である。そこで本章では、サラウンド音響での音響と視覚の関係性を明らかにすることを試みる。

サラウンド音響に着目した研究では、特定のタスクにおけるサラウンド音響と視覚的注意の関係性に着目した研究がある [56, 57]. 1 つの視覚領域に注意を集中させるタスクにおいて、映像の外から流れるサラウンド音により注意が引き寄せられることで注意領域が広がり、タスクに悪影響を与えることが報告されている。これらの研究は、視聴対象やタスクを限定した視覚的注意を検証したものである。一方で本章では、タスクを課さずに自然な条件下での映像視聴時の検証を行ない、サラウンド音響の効果を明らかにする。

4.3 実験方法

本節では、視線計測実験の手法の概要について述べる。以降、実験目的、実験環境、映像・音響設定、実験参加者、視線計測方法、映像視聴方法、視線分析手法について順に述べる。

4.3.1 実験目的

本章では、視聴者の周囲から聞こえるサラウンド音が視線の動きに与える影響を分析する。サラウンド音響と視覚的注意の関係性に着目した先行研究 [56, 57] では、サラウンド音により注意領域が広がることが報告されている、そこで、各音響条件間の注視点の分布の広がり方の違いを検証する。

本実験では、自然風景のシーンを用い、モノラル (1.0 ch)、ステレオ (2.0 ch)、サラウンド (5.1 ch) の音響条件で提示した際の視線を計測し、注視点分布の分析を行なう。その結果から、注視点分布に対する音チャンネル数の増加の効果を分析する。

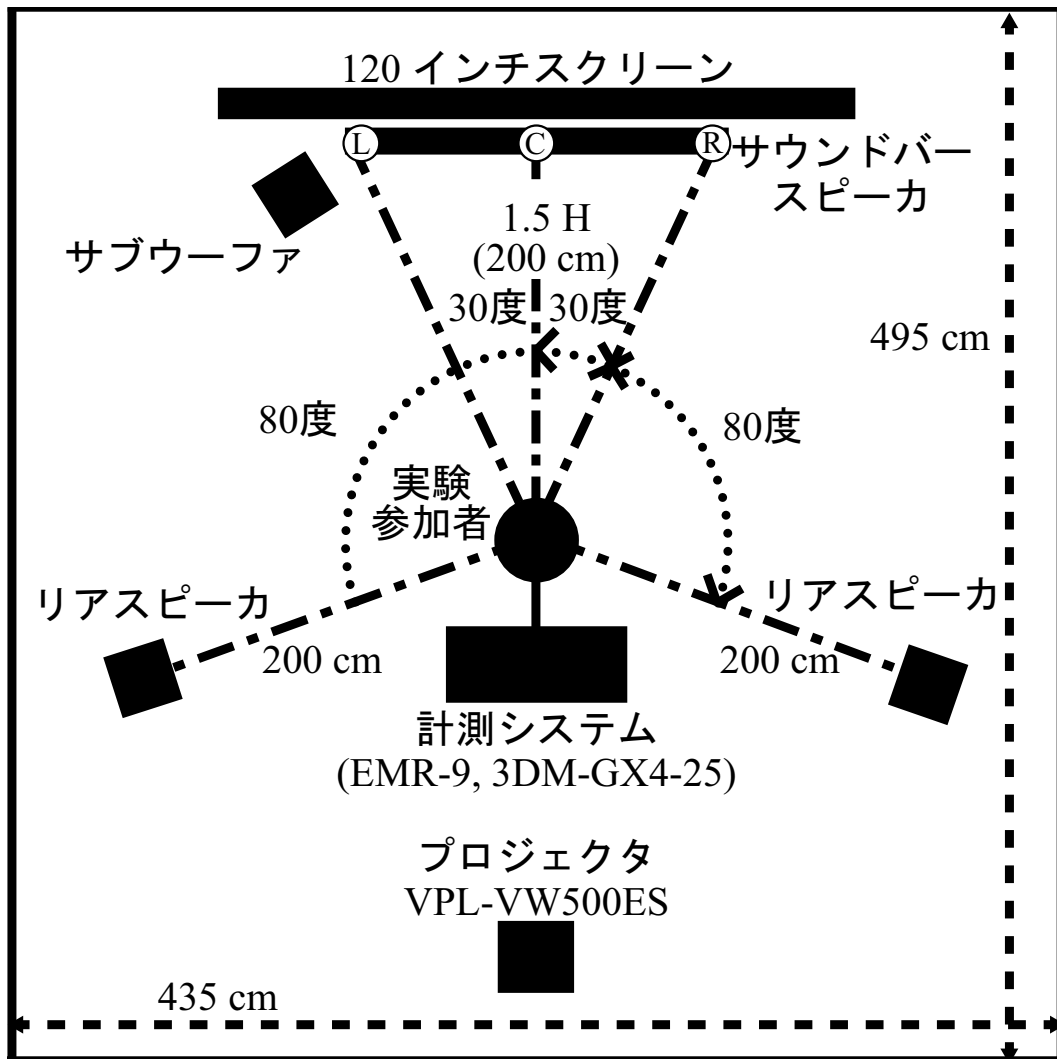


図 4.1: 実験室（シールドルーム）内の配置.

4.3.2 実験環境

実験は東海大学所有のシールドルームで行なった。この実験室は吸音材の壁面で構成されており、435 cm × 495 cm × 260 cm の空間である。この空間内に、120 インチ大画面スクリーンおよびプロジェクタ VPL-VW500ES（ソニー（株））、サラウンドスピーカ HT-RT5（ソニー（株））、第2章で開発した視線計測システムを配置した（図 4.1）。

実験参加者の視聴距離は 4K 解像度の 1.5 H を参考に 200 cm として、サラウンドスピーカは視聴距離 200 cm の円周上に配置した。前面のサウンドバースピーカおよび、サ



図 4.2: 実験室（シールドルーム）内の風景.

ブーファはスクリーンの真下（床上 30 cm）に設置した．リアスピーカはスクリーン中心から左右 110° の方向，実験参加者の耳の高さ（床上 100 度）になるように三脚に固定した．この配置は，スクリーンで遮蔽されるため設置が物理的に不可能な前面サウンドバースピーカをスクリーンの真下とした以外，ITU-R BS.775-1 [89] に従い，サラウンド音響に最適な音場になるように設置した．実験室の風景を図 4.2 に示す．

実験時は室内の照明を消灯し，その際のスクリーン輝度は最小： 0.04 cd/m^2 ，最大： 104 cd/m^2 であった．

4.3.3 映像・音響設定

実験映像は，市販のブルーレイソフトである「森林浴サラウンド ブルーレイ・エディション [映像遺産・ジャパントリビュート]」（シンフォレスト）[90] を使用した．画面全体を満遍なく見せたい映像や注意を引く可能性がある対象が画面全体に広く分布する映像では，サラウンド音による視線移動が促されやすいと仮説を立てた．この仮説により，自然の風景を中心とした俯瞰的に撮影されたシーンが多い映像を選出した．この映像から，リアスピーカから音が鳴る箇所を含むカットを選別し，森林（Forest A, Forest B, Forest C）と渓谷（Valley A, Valley B, Valley C）を各 1 分間のシーンとして，編集した．森林は木々の揺らめきを主とした緑が多い映像，渓谷は溪流を主とした水が多い映像

である。これらの映像は、サラウンド音によって視線移動が生じやすくなると仮定して選出した。両映像は、この観点から、分析対象として同質と考える。シーンが持つ固有の映像特徴による視線移動への影響を検証するために、シーン条件として森林、渓谷それぞれでバリエーションを増やし、異なるカットを3つずつ用意した。映像の音声は自然の風景で発生する音で自然の中に溶け込む音である。森林では木々のざわめきや鳥の鳴き声、渓谷では水の流れる音などが収録され、風景とは関係ない音は含まないものである。音チャンネル数の増加の効果を分析するため、画面内の視対象の物体の移動が少なく、リアスピーカから映像と違和感のない音が行れるものとして、自然映像を選定した。

音響条件は、モノラル (1.0 ch)、ステレオ (2.0 ch)、サラウンド (5.1 ch) とした。ブルーレイソフトに収録されているリニア PCM 5.1ch サラウンドから、音声編集ソフト DaVinci Resolve (Blackmagic Design Pty. Ltd.) を用い、モノラルとステレオをリミックスした。ラウドネス補正は ITU-R BS.1770 [91] に従って行なった。音圧レベル値としては、劇場を参考に最小 55 dB、最大 85 dB となるように設定した。

4.3.4 実験参加者

実験参加者は 20 代の大学生 15 名 (男性 8 名、女性 7 名) であり、映像視聴に支障がない視力 (矯正視力を含む) と聴力を有していた。本実験は、東海大学で実施し、同大学の「人を対象とする研究」に関する倫理委員会規定に従って実施した。

4.3.5 視線計測方法

第 2 章で開発した視線計測装置を用い、眼球運動と頭部運動を計測し視線を計測する。眼球センサにアイマークレコーダ EMR-9 ((株) ナックイメーヂテクノロジー)、頭部センサに加速度センサ 3DM-GX4-25 (LORD Corp.) を使用する。本実験では、4.3.2 項でも述べたようにシールドルームで計測を行なったため、磁気センサでは計測値に影響が出る可能性を考慮して、頭部センサに加速度センサを用いた。実験参加者は帽子モデルの EMR-9 を被り、その後頭部に 3DM-GX4-25 を固定バンドで装着した。

4.3.6 映像視聴方法

実験参加者には、「自由に眼球と頭部を動かして見てよい」と指示をして映像を視聴させた。3つの音響条件と6つのシーンからなる計18シーンを無作為に提示し、各シーン間に10秒間の視線固定画像を挿入した。18シーンの視聴は、約5分間の休憩時間を挟んで2部に分けて実施した。1シーンの長さは1分間で、各シーンの先頭に10秒間の視線固定映像を挿入した。そのため、前半と後半の9シーンの視聴時間は各々10分30秒である。この際、全実験参加者が異なる順序で各シーンを視聴した。

4.3.7 視線分析手法

本実験では、各音響条件間で注視点の分布の広がりの違いを検証する。

この注視点の分布の広がりを表す指標として、眼球の動かしやすさ及び、視野範囲が水平方向と垂直方向で異なることから [76]、それぞれの標準偏差を分離して検証する。さらに、Yamada ら [92] が注視点の広がりを楕円として表現したことになり、水平と垂直の標準偏差および視聴距離に基づいて計算される楕円の面積を評価する。

最初に、計測した視線データから、移動速度に基づいて注視点を定義し、抽出した [70]。注視点抽出の基準として山田ら、福田らの研究 [70, 78] を参考に 30 度/秒以下のデータが 0.15 秒以上続いた区間を注視点候補として抽出した。そして、基準を満たす視線座標位置の平均値をその注視点候補区間の代表点として定義し、1つの注視点とした。計測装置の仕様上、瞳孔を検出できない瞬きなどの状態の区間はエラー値として除外した。

次に、実験参加者がある音響条件でシーンを視聴している間に抽出された注視点の平均的な位置を注視点の平均として算出し、その注視点の標準偏差を水平方向と垂直方向のそれぞれについて算出した。この水平と垂直方向の注視点の各標準偏差が長軸と短軸の半径となる楕円を注視領域面積 a とし、その面積を式 (4.1) で算出した。

$$a = \pi d^2 \tan(2x) \tan(2y). \quad (4.1)$$

ここで、水平方向と垂直方向の注視点の標準偏差をそれぞれ x [度] と y [度] とし、視聴距離を d [cm]、 π は円周率を表す。本実験では、正規分布において約 95% の信頼区間となる標準偏差の 2 倍 (2σ) を指標として用いる。

4.4 実験結果

本節では、各音響条件での映像視聴時の視線計測実験を行ない、視線を分析した結果について述べる。以降、注視点分布、標準偏差と注視領域面積の結果及び検定結果について順に述べる。

4.4.1 注視点分布

図 4.3 に、各音響条件で Valley C のシーンを視聴した際のある実験参加者の注視点の分布を例として示す。図中の外枠（水平方向 ± 30 度、垂直方向 ± 17 度）は、スクリーン中心座標を原点 (0,0) とした際の大画面スクリーンの観視画角 [度] を示している。

この実験参加者については、スクリーンの対角方向に広い分布となった。サラウンドにおいて、他の条件よりも対角方向に広く分布する結果が示された。

4.4.2 標準偏差と注視領域面積

前節に示した結果から、音響条件による違いをさらに分析するために、図 4.4 と図 4.5 に、ある実験参加者の注視点の平均と水平および垂直方向の標準偏差 (2σ) を算出した結果を示す。注視点分布を比較する指標として、標準偏差と注視領域の面積 a に着目する。

具体的には注視点の標準偏差から、図中の破線（モノラル）、一点鎖線（ステレオ）、実線（サラウンド）で示す楕円を注視領域と定義し、その面積を算出する。

図 4.6 と図 4.7 に、全実験参加者で平均したシーン別の水平と垂直方向の標準偏差、注視領域面積を示す。

4.4.3 2 要因分散分析

注視点の標準偏差と注視領域面積についてさらに分析するため、シーン条件と音響条件を要因とする 2 要因分散分析を行なった。シーンや音響の効果及び交互作用を明らかにすることによって、音と視覚の関係性を検証する。

本実験ではシーンが持つ固有の映像特徴の影響を考慮し、シーン条件として森林、渓谷それぞれでバリエーションを増やし、カットが異なるシーンを 3 つずつ用意している。シーンに起因する影響を確認するため、用意した映像のバリエーションである 6 水準での

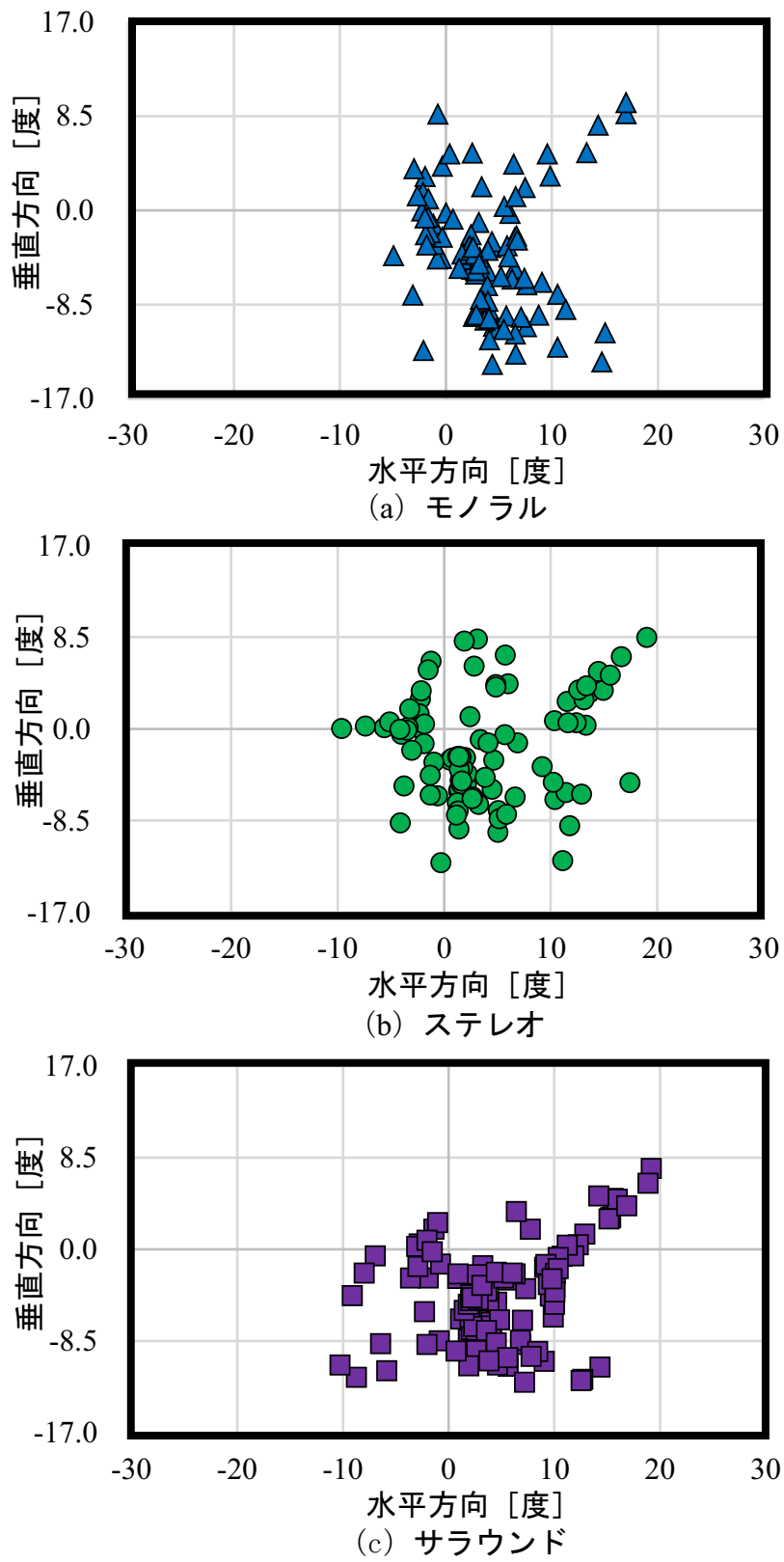
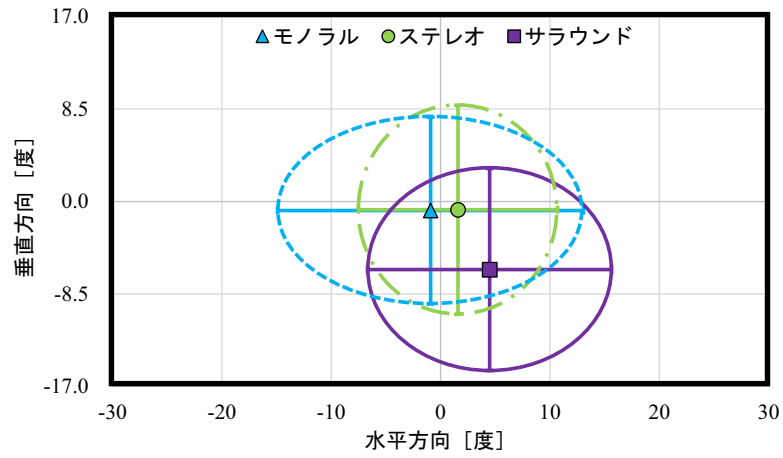
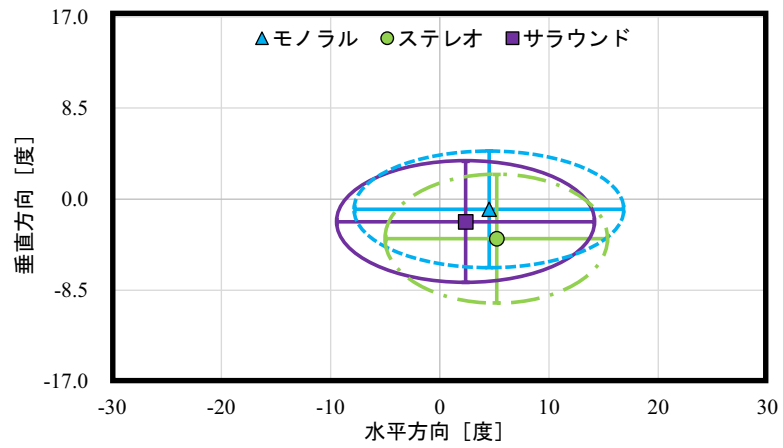


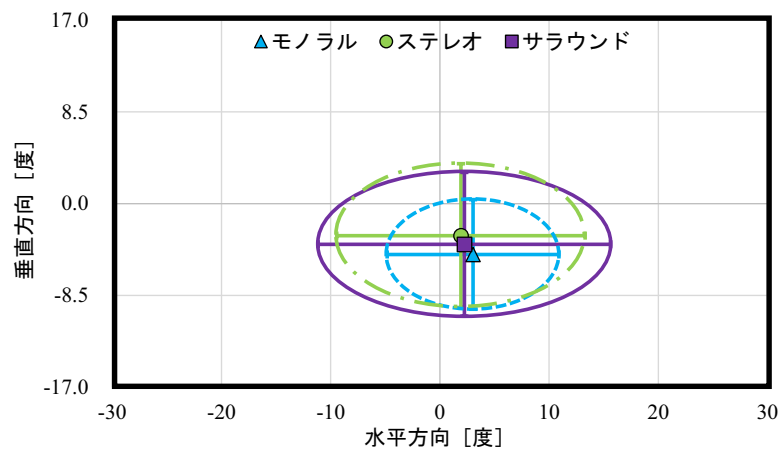
図 4.3: ある実験参加者の各音響条件における注視点分布 (Valley C).



(a) Forest A.

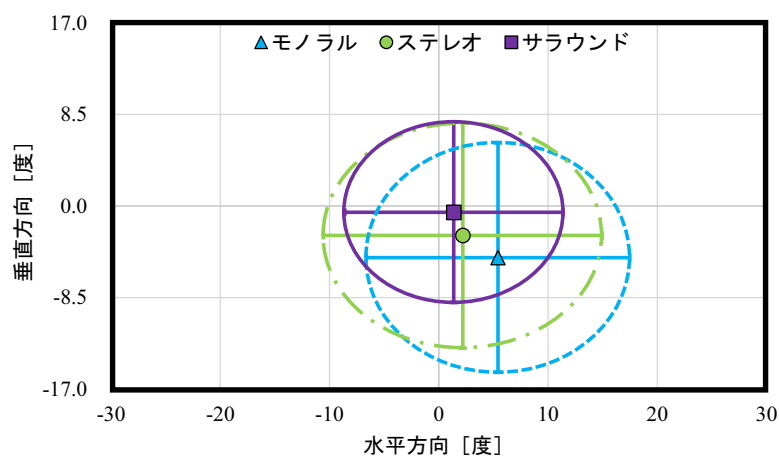


(b) Forest B.

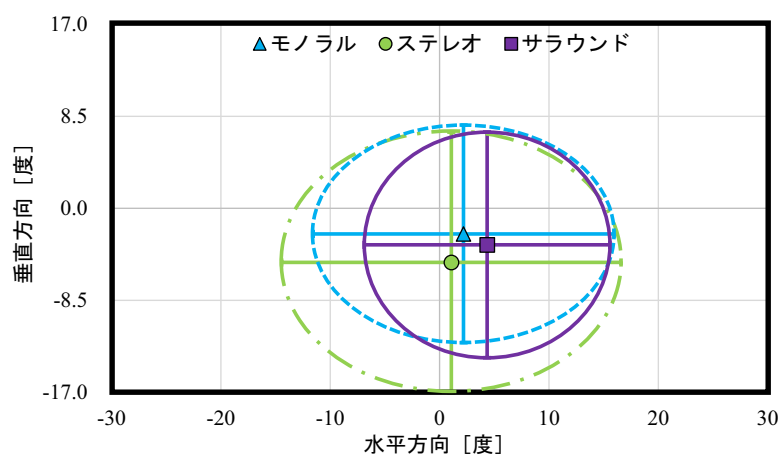


(c) Forest C.

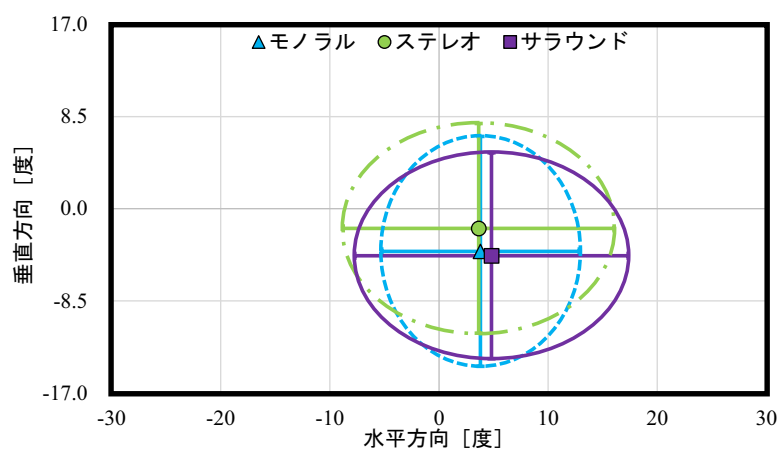
図 4.4: 図 4.3 と同じ被験者の各音響条件における注視点の平均と垂直・水平方向の標準偏差 (2σ) (Forest).



(a) Valley A.

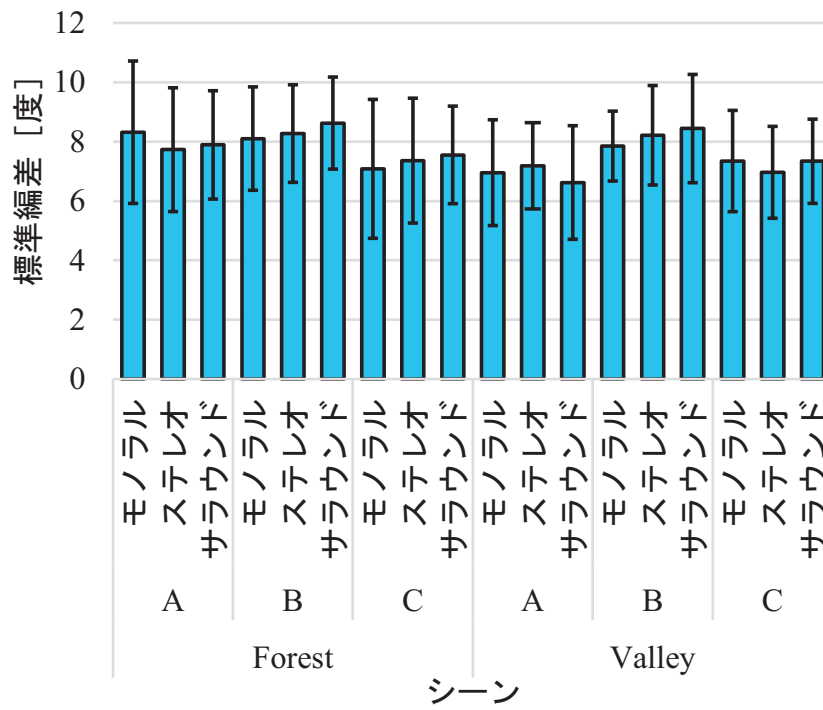


(b) Valley B.

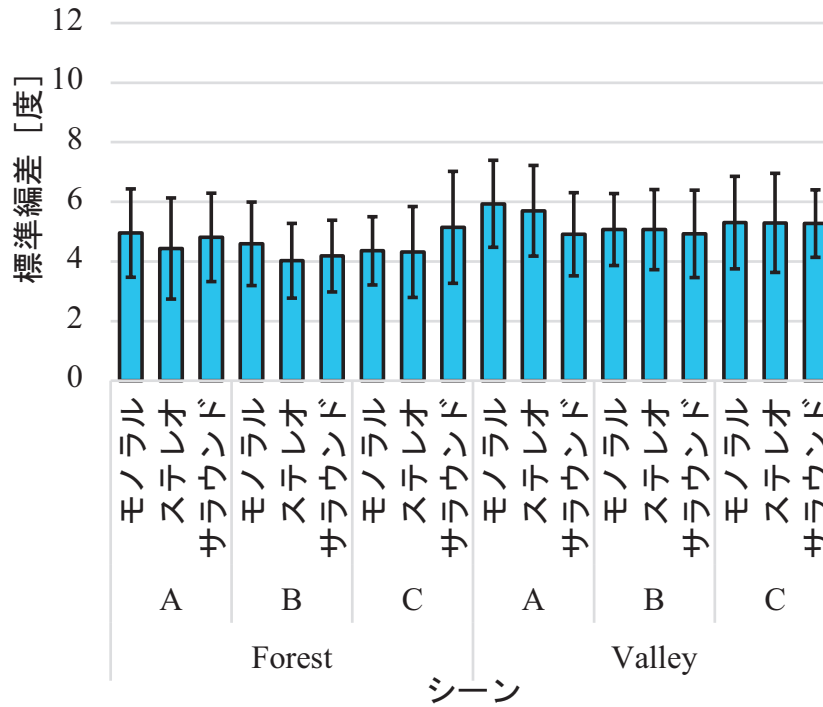


(c) Valley C.

図 4.5: 図 4.3 と同じ被験者の各音響条件における注視点の平均と垂直・水平方向の標準偏差 (2σ) (Valley).



(a) 水平方向.



(b) 垂直方向.

図 4.6: 標準偏差の平均.

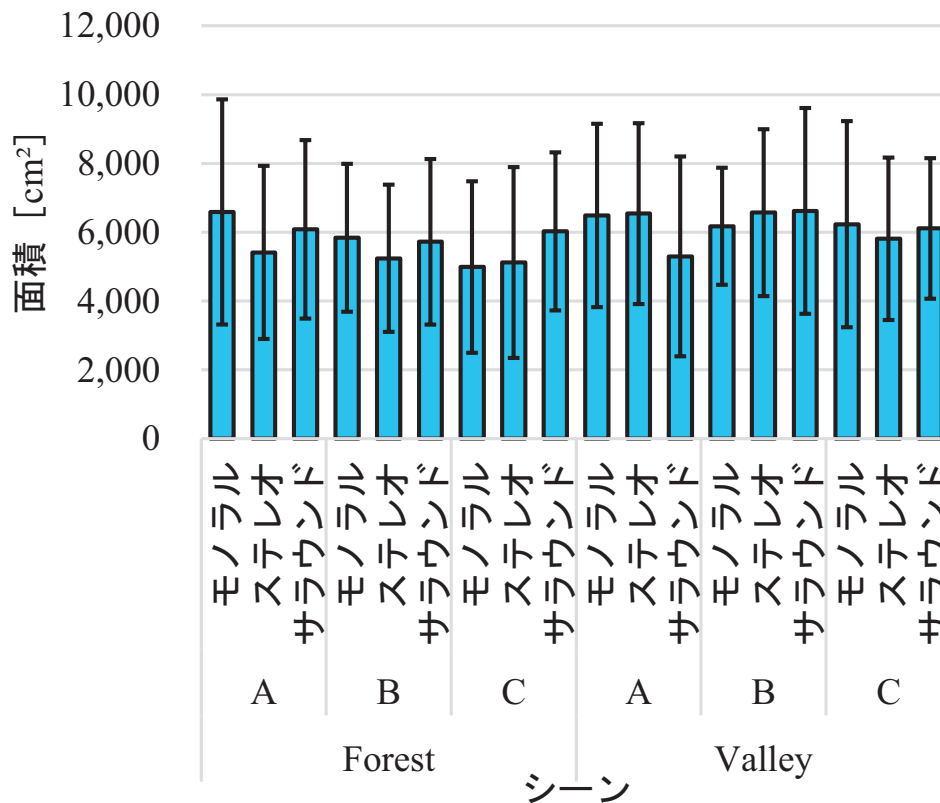


図 4.7: 注視領域の平均面積.

分析を補助的に行なう。その結果を表 4.1 に示す。

注視点の水平方向の標準偏差ではシーン条件の主効果、垂直方向の標準偏差ではシーン条件と音響条件の主効果と交互作用、注視領域面積では音響条件の主効果が有意であった。この表の F 値は、群間および群内の平均 2 乗の比として計算し、この値に基づいて、F 分布表から有意水準 5% で有意差があるかを判定した。

4.4.4 多重比較

前項の結果から、有意であった項目に対して Holm 法による多重比較を行なった。

初めに、水平方向の標準偏差におけるシーン条件の主効果について、多重比較した結果を表 4.2 に示す。シーン条件間の比較のうち、有意差があったものを太字で示す。Forest B と Valley B の標準偏差が 8.0 を超えており、これらのシーン条件を含む一部の組で有意差がみられた。

次に、垂直方向の標準偏差では、シーン条件と音響条件の主効果と交互作用があったた

表 4.1: 標準偏差（水平・垂直）と注視領域面積の 2 要因（シーン・音響）分散分析結果.

		F 値	有意差 ($p < 0.05$)
標準偏差（水平方向）	主効果（シーン）	$F(5, 70) = 8.673$	あり
	主効果（音響）	$F(2, 28) = 2.018$	なし
	交互作用	$F(10, 140) = 1.565$	なし
標準偏差（垂直方向）	主効果（シーン）	$F(5, 70) = 3.449$	あり
	主効果（音響）	$F(2, 28) = 20.306$	あり
	交互作用	$F(10, 140) = 3.966$	あり
注視領域面積	主効果（シーン）	$F(5, 70) = 1.565$	なし
	主効果（音響）	$F(2, 28) = 6.406$	あり
	交互作用	$F(10, 140) = 1.115$	なし

め、まず単純主効果の結果を表 4.3 に示す。各シーン条件における音響条件に対して、すべてのシーン条件における音響条件間で有意差があった。各音響条件におけるシーン条件に対しては、ステレオにおいてのみシーン条件間で有意差があった。続いて、Holm 法における多重比較を、有意差があった組について行なった結果を表 4.4 に示す。シーン条件間及び音響条件間の比較のうち、有意差があったものを太字で示す。各シーン条件における音響条件では、モノラルとステレオの音響条件間とモノラルとサラウンドの音響条件間で有意差があったものが、全 6 シーン 中 3 シーンであった。ステレオとサラウンドの音響条件間で有意差がみられたのは、全 6 シーン 中 2 シーンで、そのうち 1 つはステレオの方が大きいという結果であった。ステレオにおけるシーン条件では、全 15 組 中 5 組で有意差がみられ、そのうち 3 組で Forest B が有意に小さいことを示す結果となった。

注視領域面積における音響条件の主効果について、多重比較した結果を表 4.5 に示す。音響条件間の比較のうち、有意差があったものを太字で示す。モノラルとステレオ、モノラルとサラウンドの音響条件間で有意差があり、チャンネル数の増加により有意に分布が広がるという結果が示された。

表 4.2: シーン条件の組における多重比較結果（水平方向の標準偏差）.

シーン条件の組 (平均値)	t 値	有意差 ($p < 0.05$)
Forest A (7.799) - Forest B (8.316)	$t(14) = 1.970$	なし
Forest A (7.799) - Forest C (7.202)	$t(14) = 2.259$	なし
Forest A (7.799) - Valley A (7.104)	$t(14) = 2.671$	なし
Forest A (7.799) - Valley B (8.189)	$t(14) = 1.571$	なし
Forest A (7.799) - Valley C (7.350)	$t(14) = 2.094$	なし
Forest B (8.316) - Forest C (7.202)	$t(14) = 4.344$	あり
Forest B (8.316) - Valley A (7.104)	$t(14) = 4.276$	あり
Forest B (8.316) - Valley B (8.189)	$t(14) = 0.465$	なし
Forest B (8.316) - Valley C (7.350)	$t(14) = 4.705$	あり
Forest C (7.202) - Valley A (7.104)	$t(14) = 0.396$	なし
Forest C (7.202) - Valley B (8.189)	$t(14) = 4.951$	あり
Forest C (7.202) - Valley C (7.350)	$t(14) = 0.868$	なし
Valley A (7.104) - Valley B (8.189)	$t(14) = 4.395$	あり
Valley A (7.104) - Valley C (7.350)	$t(14) = 0.868$	なし
Valley B (8.189) - Valley C (7.350)	$t(14) = 3.875$	あり

表 4.3: 各要因における条件間の単純主効果検定の結果（垂直方向の標準偏差）.

要因	条件	F 値	有意差 ($p < 0.05$)
Forest A	音響	$F(2, 28) = 7.971$	あり
Forest B	音響	$F(2, 28) = 3.652$	あり
Forest C	音響	$F(2, 28) = 4.573$	あり
Valley A	音響	$F(2, 28) = 9.062$	あり
Valley B	音響	$F(2, 28) = 7.178$	あり
Valley C	音響	$F(2, 28) = 8.919$	あり
モノラル	シーン	$F(5, 70) = 2.263$	なし
ステレオ	シーン	$F(5, 70) = 6.484$	あり
サラウンド	シーン	$F(5, 70) = 2.092$	なし

表 4.4: 各要因における単純主効果が有意であった条件内での多重比較の結果（垂直方向の標準偏差）.

要因	条件の組 (平均値)	t 値	有意差 ($p < 0.05$)
Forest A	モノラル (4.953) - ステレオ (4.808)	$t(14) = 0.619$	なし
	モノラル (4.953) - サラウンド (5.701)	$t(14) = 3.139$	あり
	ステレオ (4.808) - サラウンド (5.701)	$t(14) = 3.616$	あり
Forest B	モノラル (4.592) - ステレオ (4.181)	$t(14) = 1.259$	なし
	モノラル (4.592) - サラウンド (5.069)	$t(14) = 2.496$	なし
	ステレオ (4.181) - サラウンド (5.069)	$t(14) = 2.605$	なし
Forest C	モノラル (4.356) - ステレオ (5.145)	$t(14) = 2.306$	なし
	モノラル (4.356) - サラウンド (5.295)	$t(14) = 2.701$	なし
	ステレオ (5.145) - サラウンド (5.295)	$t(14) = 0.485$	なし
Valley A	モノラル (4.435) - ステレオ (5.935)	$t(14) = 4.418$	あり
	モノラル (4.435) - サラウンド (4.912)	$t(14) = 1.217$	なし
	ステレオ (5.935) - サラウンド (4.912)	$t(14) = 2.956$	あり
Valley B	モノラル (4.024) - ステレオ (5.071)	$t(14) = 3.307$	あり
	モノラル (4.024) - サラウンド (4.926)	$t(14) = 3.490$	あり
	ステレオ (5.071) - サラウンド (4.926)	$t(14) = 0.453$	なし
Valley C	モノラル (4.318) - ステレオ (5.304)	$t(14) = 4.570$	あり
	モノラル (4.318) - サラウンド (5.271)	$t(14) = 2.973$	あり
	ステレオ (5.304) - サラウンド (5.271)	$t(14) = 0.134$	なし
ステレオ	Forest A (4.808) - Forest B (4.181)	$t(14) = 2.129$	なし
	Forest A (4.808) - Forest C (5.145)	$t(14) = 0.899$	なし
	Forest A (4.808) - Valley A (5.935)	$t(14) = 3.620$	あり
	Forest A (4.808) - Valley B (5.071)	$t(14) = 0.837$	なし
	Forest A (4.808) - Valley C (5.304)	$t(14) = 1.985$	なし
	Forest B (4.181) - Forest C (5.145)	$t(14) = 2.400$	なし
	Forest B (4.181) - Valley A (5.935)	$t(14) = 4.624$	あり
	Forest B (4.181) - Valley B (5.071)	$t(14) = 3.664$	あり
	Forest B (4.181) - Valley C (5.304)	$t(14) = 5.038$	あり
	Forest C (5.145) - Valley A (5.935)	$t(14) = 2.911$	なし
	Forest C (5.145) - Valley B (5.071)	$t(14) = 0.242$	なし
	Forest C (5.145) - Valley C (5.304)	$t(14) = 0.398$	なし
	Valley A (5.935) - Valley B (5.071)	$t(14) = 3.664$	あり
	Valley A (5.935) - Valley C (5.304)	$t(14) = 1.576$	なし
	Valley B (5.071) - Valley C (5.304)	$t(14) = 0.748$	なし

表 4.5: 音響条件の組における多重比較結果 (注視領域面積).

音響条件の組 (平均値)	t 値	有意差 ($p < 0.05$)
モノラル (5,530) - ステレオ (6,118)	$t(14) = 3.179$	あり
モノラル (5,530) - サラウンド (6,155)	$t(14) = 2.570$	あり
ステレオ (6,118) - サラウンド (6,155)	$t(14) = 0.251$	なし

4.5 考察

本章では、マルチチャネル音響システムに着目し、音声チャネル数の違いによる視線の違いを検証した。実験により計測した視線データから注視点を抽出し、その水平方向と垂直方向の標準偏差とその標準偏差から定義される注視領域面積を算出した。その結果、音響条件における注視領域面積の有意差を示した。本節では、2 要因分散分析の結果から、各音響条件における標準偏差および注視領域面積の違いについて考察する。以降、水平方向の標準偏差、次に垂直方向の標準偏差、注視領域面積に関する考察を順に述べる。

4.5.1 水平方向の標準偏差

水平方向の標準偏差では、シーン条件間で主効果が認められたが、音響条件間では主効果が認められなかった (表 4.1: 標準偏差 (水平方向))。

サラウンドスピーカは、ITU-R BS.775-1 [89] に従って配置した。その際に、リアスピーカは耳の高さに設置されており、目線の位置とほぼ同じ高さである。このため、注意が引きつけられる場合には、垂直方向よりも水平方向に眼球運動が多く生じる可能性があった。しかし本実験において、音響条件間では主効果が認められなかった。

この理由として、配置されたリアスピーカから強く注意を引くような音が発生しなかったことが考えられる。リアスピーカの左右 110 度の位置はスクリーンの外側の視野外となる。このため、そのリアスピーカの方へ視線移動を生じさせるためには、視対象が見えなくとも強く注意を引く必要があることが予想される。しかし本実験で使用した風景シーン中には、そのような音の発生がなかった可能性が考えられる。このことから、リア

スピーカから鳴る音に対して注意を引きつけられることによる水平方向の眼球運動があまり生じず、視線移動する必要が生じなかったと考えられる。

また、カメラの視点が固定された俯瞰風景シーンを抽出したことから、すべてのシーン条件で同じような視線行動が生じる可能性が高いと考えていた。しかし、多重比較の結果から、特定のシーン条件（Forest B, Valley B）において、水平方向の標準偏差が有意に広がっていることが確認されたため、実際にはシーン条件の影響があったことが考えられる。

その理由の1つとして、シーンの画像特徴の影響が音よりも強く出ていた可能性を示唆している。その影響の例として、Forest（森林）の映像では木の太い幹や葉っぱの揺らめき、Valley（溪谷）の映像では川の水の流れや落ち方などが挙げられ、視線が誘導されやすい画像特徴が存在することが考えられる。このシーン条件の違いによる視線の違いを検証するためには、映像そのものの顕著性や視対象の数など、映像自体のパラメータを詳しく分析する必要がある、今後の課題の1つである。

4.5.2 垂直方向の標準偏差

垂直方向の標準偏差では、音響条件間で主効果が認められた（表 4.1：標準偏差（垂直方向））。

前項でも述べたように、サラウンドスピーカの配置は ITU-R BS.775-1 [89] に従って配置した。その際に、フロントスピーカは、実験室のスクリーンが非透過型であるためスクリーンの真下（実験参加者の膝の高さ付近）とした。このため、注意が引きつけられる場合には、水平方向よりも垂直方向に眼球運動が多く生じる可能性があった。本実験の結果より、リアスピーカに対しては発生しなかった強く注意を引くような音がスクリーン真下のフロントスピーカから流れ、実験参加者の視線に対して垂直方向への移動を促した可能性が考えられる。また、フロントスピーカは映像と近接しており視野内の位置にある。このため、スピーカ間で同じような音が発生していても、リアスピーカよりフロントスピーカの方が視線移動を促しやすい配置だったと考えられる。

Mendonça らの研究では、サラウンド音響環境として3画面で29個のスピーカを球面状に5段階の高さに設置したもの [56]、Korshunova らの研究では、3画面で7.1.4 ch のフロントスピーカ3つ、リアスピーカ2つ、バックスピーカ2つ、サブウーファ1つ、天井スピーカ4つの計12個のスピーカを設置したもの [57] を実験環境として、実験参加者

へ人の数を数えるタスクを課していた。これらの研究では、タスクの影響により注視分布が1点に集まりやすく、周囲環境音の影響を受けやすかったことや、視野外に聴覚刺激となるスピーカが多く配置されたことで、視野外から視覚的注意を引きやすい状況であったことが考えられる。これに対して本実験では、一般的なテレビ視聴を想定したタスクを課さない自由視聴であり、視野内に収まる1画面分の画角、視野外のスピーカはリアスピーカのみであった。このことから、Mendonçaら、Korshunovaらの研究とは異なり、視野外からは注意を引き寄せることが少なかったことが考えられる。

前項と同様に、垂直方向においても多重比較の結果（表 4.4）から、シーン条件により有意差が生じた音響条件が異なることが確認された。ステレオが有意に大きかったシーン（Valley A）、サラウンドが有意に大きかったシーン（Forest A）、ステレオ・サラウンドが有意に大きかったシーン（Valley B, Valley C）があり、シーン条件の影響があったことが考えられる。特に、ステレオシーンではシーン条件間の単純主効果が認められており、シーンに依存する影響が強かったことが考えられる。前項でも述べたように、その理由の1つとして、シーンの画像特徴の影響が音よりも強く出ていた可能性が示唆されるが、映像そのものの特徴の分析は今後の課題である。

4.5.3 注視領域面積

注視領域面積では、音響条件間で主効果が認められた。多重比較の結果から、モノラルとステレオ、モノラルとサラウンドの音響条件間で有意差がみられた（表 4.1：注視領域面積，表 4.5）。

注視領域面積は、水平方向と垂直方向の標準偏差から算出されるため、垂直方向の違いが主となり、面積において音響条件間で有意差が得られたと考えられる。また、4.5.1項で示唆されたように、後方に強く注意を払う必要がなかったことが、ステレオとサラウンドの音響条件間に有意差が見られなかった理由と考えられる。以上のことから、モノラルと比較して、ステレオおよびサラウンドにおいて注視点分布が広がることを示し、音響条件によって視線が変化し、注視領域面積が大きくなることを明らかにした。

本実験で使用した自然映像のように、画像全体の傾向が似ている場合には、特定の注視対象が決まりにくく、ドラマやスポーツなどで生じやすい特定の視対象への注視が発生しにくい。そのため、スピーカから発生する音に対する視線移動を促せたと考えられる。このことから、自然映像ジャンルでなくとも、様々な視対象を配置した画面を満遍なく見せ

たい映像に対して適用できる可能性がある。

また、スピーカの配置はITU-R BS.775-1 [89]に従っており、一般的な映画やドラマなどのコンテンツでの音響制作現場ではこの基準位置での制作が多く行なわれている。このため、物理的に配置できない場合を除き、この位置から大きく変更することはほとんどないと考えられる。

以上のことから、注意を強く引く注視対象物が少ない映像や様々な視対象を配置した映像かつITU-R BS.775-1 [89]に従ったスピーカ配置の状況下で、画面を満遍なく見せたい映像制作者への指標の1つとなる結果を示すことができたと考えている。

4.6 まとめ

本章では、第1章で述べた3つの視聴方法の違いのうち、音響システム（モノラル、ステレオ、サラウンド）の違いについて、視線計測実験を行ない、注視点の分析を行なった。その分析および検定結果から、ステレオおよびサラウンドの音響条件において、モノラルと比較して注視領域面積が有意に広がり、注視点分布が広がることを確認した。このことから、サラウンド音響により、モノラルと比較して注視点の分布が広がるという仮説を支持する結果が示された。一方で、ステレオとの比較では仮説を支持しない結果が示された。

モノラルとの比較で仮説を支持した理由としては、スクリーン真下から生じるフロントスピーカが垂直方向の視線移動を生じさせたことが考えられる。ステレオとサラウンドの比較で仮説を支持しなかった理由としてはリアスピーカから強く注意を引くような音が発生せず、注意を引きつけられることによる水平方向の眼球運動があまり生じず、視線移動する必要が生じなかったことが考えられる。

本実験の結果より、ステレオ、サラウンドのITU 勧告に従った適切な音響環境状況の映像視聴時において、垂直方向注視点の標準偏差について音響条件間で違いが見られたことから、視覚に対する聴覚の作用が存在すること、音と視覚に関係性があることを確認した。この結果からユーザが映像を視聴する際に、視線移動を促すスピーカ配置による映像視聴環境を構築することにより、映像内の情報を把握するために、画面全体に広く動かすような視線移動を誘導させることができることが示唆される。このことから、視聴者がより広範囲の視覚情報を把握することに寄与すると考えられる。

第5章

再生速度の違いに対する注視点の分析

第1章で述べたように、本研究では、映像視聴における以下の3つの視聴方法の違いについて視線計測実験を行なう。

- (a) 視聴位置（視聴距離，視聴方向）の違い
- (b) 音響システム（モノラル，ステレオ，サラウンド）の違い
- (c) 再生速度（0.75～3.0倍速）の違い

本章では、このうち再生速度（0.75～3.0倍速）を変化させた際の視線計測実験を行なう。

以降、5.1節で研究の背景と関連研究について述べる。5.2節では、視線計測実験方法について述べる。5.3節で実験結果について述べ、5.4節で考察する。最後に5.5節で本章をまとめる。

5.1 はじめに

Netflix[†]やHulu[‡]などのオンライン映像ストリーミングサービスの登場により、パソコンやスマートフォンなどで手軽に映像を視聴する機会が増えつつある。これらのサービスでは、最新の映像コンテンツから古い映像コンテンツまで多くの映像コンテンツを配信しており、様々なジャンルの数万本以上の映像コンテンツを視聴することが可能である。こ

[†] <https://www.netflix.com/>

[‡] <https://www.hulu.jp/>

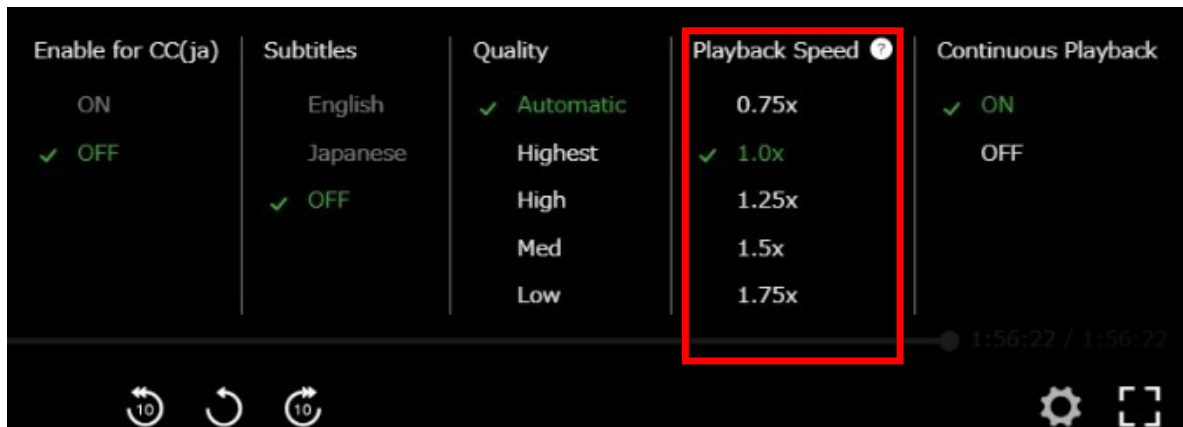


図 5.1: Hulu[‡]の再生速度変更機能.

の大量の映像コンテンツを効率よく時間を短縮して視聴する方法として、映像の再生速度を変更する機能がある（図 5.1）。これらの機能を活用して映像コンテンツを視聴しているユーザーが増えつつある [58, 93]。

また、2020 年前後における新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の流行に伴う、オンライン講義の爆発的な増加から、オンデマンド映像を速い再生速度で視聴する受講者が増えた。そこで、オンライン講義において、再生速度を変えて視聴した際の理解度を検証した研究がある。この研究では、再生速度が 2.0 倍速までは理解度が下がらず、効率的な映像視聴戦略であることが報告されている [94, 95]。一方で、スポーツや映画などのジャンルでは、理解度だけでなく臨場感や見やすさも考慮することが重要である。

以上の背景をうけて、本章では、異なる再生速度の映像を視聴する際の視線に着目し、映像視聴時の変化に関する基礎的な知見を得るための視線計測実験を行なう。映像視聴時の視線を分析した研究は、本論文でもこれまでに紹介したように様々なものがあるが [22–29]、これらの研究では基本的に等倍速（1.0）で映像を視聴することを前提としている。そこで本章では、再生速度を変化させて映像を視聴した際に表れる視線の違いについて、再生速度の影響を明らかにすることを目指す。

再生速度の変更では、前述したように視聴時間を短縮するために、速い再生速度に変更することが多い。視聴者はその短い再生時間で、映像内容を理解していると考えられる。映像を理解するための視行動の戦略として、映像中の視対象である物体や人物を追う動き

[‡] <https://www.hulu.jp/>

や複数の視対象を往復するような注視が考えられる。このような視線の動きにより、映像中の様々な場所を見ることで内容を理解すると考えられる。再生速度が速くなるに従って、視対象である物体や人物の動きも連動して速くなる。そのため、視対象の速い動きを注視で追いきれなくなる可能性や、複数の視対象を往復する余裕がなくなる可能性が考えられる。その際に、映像内容を理解するために、注視ではなく、周辺視で情報を受容することが考えられる。このときの視行動の戦略としては、画面上のある1点を漠然と注視しながら、映像全体を俯瞰すると考えられる。そこで、視行動の戦略の違いを検証するため以下の仮説を立てる。

- 再生速度が速い場合、映像中の視対象の速い動きに視線を合わせ続けることを諦めて、視線をある1点に集め、映像全体を俯瞰する視線の動きが生じ、注視点の分布が狭まる。
- 再生速度が遅い場合、映像中の視対象の動きに視線を合わせたり、複数の視対象を往復したりすることにより、様々な場所を見ることで注視点の分布が広がる。

本章では、視線計測実験によって、これらの仮説を検証する。

本章における貢献は、再生速度を変化させて映像を視聴する際に表れる視線の違いについて、再生速度の影響を明らかにすることである。

5.2 実験方法

本節では、視線計測実験の手法の概要について述べる。以降、実験目的、映像設定、実験環境、実験参加者、視線計測方法、映像視聴方法、視線分析手法について順に述べる。

5.2.1 実験目的

本章では、再生速度の違いが視線の動きに与える影響を分析する。5.1節で述べたように、再生速度が速い場合には、視線がある1点に集まり、注視点の分布が狭まる。一方、再生速度が遅い場合には、注視点の分布が広がるという仮説を立てた。

本実験では、4つのジャンルの映像シーンを用い、0.75倍速～3.0倍速の再生速度条件で提示した際の視線を計測し、注視点の分析を行なう。その結果から、上述の仮説を検証し、再生速度の影響を分析する。

表 5.1: 映像パラメータ.

	パラメータ
ジャンル	テニス, アクション, ミュージカル, 自然
再生速度	0.75 倍速, 1.0 倍速, 1.25 倍速, 1.5 倍速, 1.75 倍速, 2.0 倍速, 3.0 倍速
長さ	約 1 分 (1.0 倍速)
解像度	1,920×1,080 画素
音声	なし

表 5.2: ジャンル毎の映像シーンの詳細.

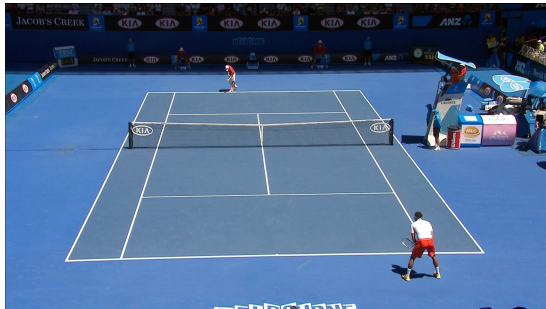
ジャンル	シーン
テニス	縦方向にテニスコートを映し, 2 人の選手がラリーを行なっている.
アクション	速いスピードのカーチェイスをカメラが追っている.
ミュージカル	サーカス団が歌い踊るショーをしている.
自然	森林の中にある滝の流れを映し出す.

5.2.2 映像設定

実験映像には, 市販されているブルーレイソフトから, テニス映像として「Air-K 錦織圭 in 全豪オープン 2012」(WOWOW) [96], アクション映像として「ワイルド・スピード ICE BREAK」(NBC ユニバーサル・エンターテイメントジャパン) [97], ミュージカル映像として「グレイテスト・ショーマン」(ウォルト・ディズニー・ジャパン) [98]. 自然映像として「森林浴サラウンド ブルーレイ・エディション [映像遺産・ジャパントリビュート]」(シンフォレスト) [90] を使用した. これらの映像から視対象の動きが多いシーンを抽出し, 再生速度 1.0 倍速で約 1 分間の長さになるように編集した. その映像のパラメータを表 5.1, シーンの詳細を表 5.2 に示す. また, 各映像のシーン例のカットを図 5.2 に示す.

各映像シーンは, 以下の仮説に基づいて選出した.

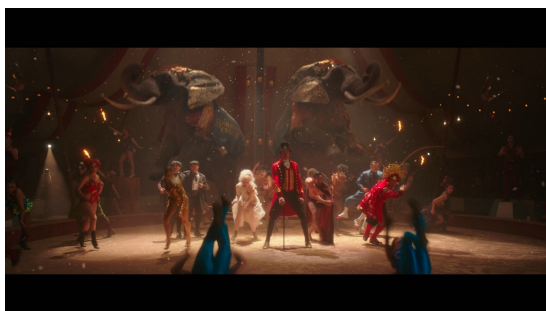
- テニス映像: 再生速度が速くなると, ある段階でラリーを追いきれなくなる可能性



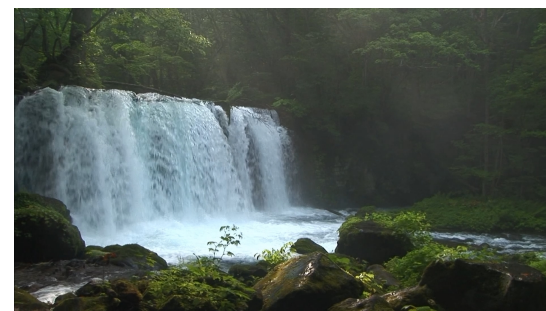
(a) テニス [96] より引用.



(b) アクション [97] より引用.



(c) ミュージカル [98] より引用.



(d) 自然 [90] より引用.

図 5.2: 映像シーンのカット例.

がある.

- アクション, ミュージカル映像: 様々な視対象が動く中で再生速度が速くなると, 全体を俯瞰するように中央に視線が集まりやすくなる.
- 自然映像: 再生速度が変化しても視対象が大きく動く, カメラワークが速くなる等がないため, どの再生速度でも変わらない視線の動きが生じる.

また, 再生速度を変更した映像の音響情報は, 視覚情報との相乗効果で視線の動きに影響を与える可能性が考えられる. このことから, 音響情報を除去した映像で実験した.

5.2.3 実験環境

実験映像の視聴にはプラズマテレビ TH-P46VT2 (パナソニック (株)) を使用した. 視聴距離はフルハイビジョンの標準観視距離である $3H$ (H : 画面の高さ) の 174 cm とした. 実験中は室内の照明を消灯した (約 5.0 lux). 画面の輝度は最小: 0.01 cd/m^2 , 最大: 200 cd/m^2 である. 図 5.3 に実際の実験風景を示す.



図 5.3: 実験風景（テニス映像 [96] 視聴）。

5.2.4 実験参加者

実験参加者は 20 代から 60 代の 24 名（男性 12 名、女性 12 名）であり、映像視聴に支障がない視力（矯正視力を含む）を有していた。

本実験は、名古屋大学の倫理規定に従って実施した。

5.2.5 視線計測方法

視線計測には、Tobii Pro Glasses 3（トビー・テクノロジー（株））を使用した。サンプリングレートが最大 100Hz で、映像の速さに対応した視線の動きが取りやすいことから、本実験で使用した。5.2.3 項でも述べたように、フルハイビジョンの標準観視距離である 3H を視聴距離としたため、第 3 章及び第 4 章での実験と比べ遠距離である。このことから、第 3 章及び第 4 章では計測に含めていた頭部運動があまり生じないことが考えられるため、本実験では第 2 章で開発した視線計測システムではなく、眼球運動のみを Tobii Pro Glasses 3 で計測する。

5.2.6 映像視聴方法

実験参加者には、各ジャンルの同一シーン映像を「自由に視線を動かして見てよい」と指示し、表 5.1 の速度の項目で示す 7 つの再生速度で視聴させた。映像 1→15 秒の休息 → 映像 2→15 秒の休息 → … のように、映像視聴間に 15 秒の休息を設けた。実験は、4 ジャンル × 7 再生速度 = 28 本の映像を、1 セット 7 本に分割して行なった。1 セットの視聴後に 5 分間の休憩を挟み、4 セット実施した。実験映像の提示順は、同じジャンルの映像が連続しないようにした上で、再生速度、ジャンルともに無作為で提示した。

5.2.7 視線分析手法

本実験では、各再生速度間で注視点の広がりの変動を検証する。

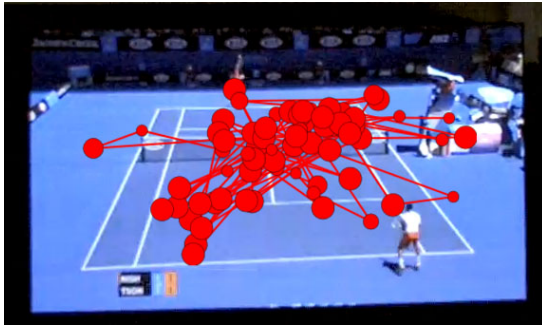
計測した視線データからの注視点の抽出には、Tobii Pro Lab (トビー・テクノロジー(株)) の Tobii I-VT (Attention) の Gaze filter を使用した。この Gaze filter では、2 つの計測値の間の移動速度を算出する。その移動速度について、しきい値 (100 度/秒) を超えない点かつ持続時間が 60 ミリ秒以上の点を固視 (Fixation) 点と分類する。本章では、この固視点が連続している区間を 1 つの注視点と定義する。この抽出された注視点データから注視点の標準偏差 (水平・垂直) を算出した。この注視点の標準偏差 (水平・垂直) で、注視点の広がりを検証した。本実験では、正規分布において約 95% の信頼区間となる標準偏差の 2 倍 (2σ) を指標として用いる。

5.3 実験結果

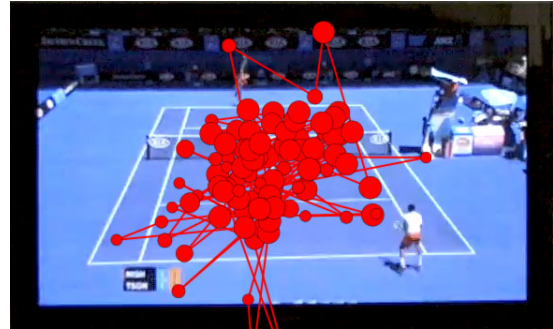
本節では、各再生速度における映像視聴時の視線計測実験を行ない、視線分析をした結果について述べる。以降、注視点分布、注視点の広がりである注視点の標準偏差 (水平・垂直) の結果及び検定結果について順に述べる。

5.3.1 注視点の分布

図 5.4 に、ある実験参加者の再生速度 1.0 倍速と 3.0 倍速の各映像を視聴している際の注視点の変化の例を示す。この図からも分かるように、再生速度の違いが注視点の分布に影響している。



(a) 1.0 倍速 (テニス [96] より引用).



(b) 3.0 倍速 (テニス [96] より引用).



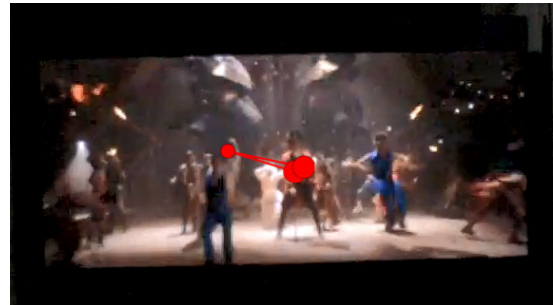
(c) 1.0 倍速 (アクション [97] より引用).



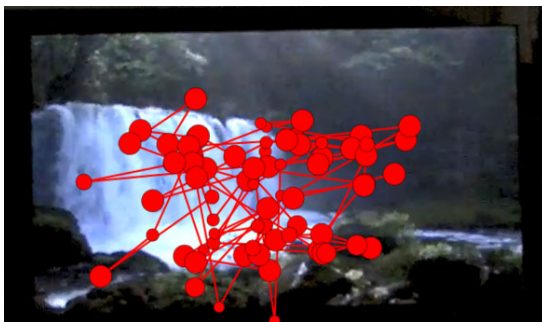
(d) 3.0 倍速 (アクション [97] より引用).



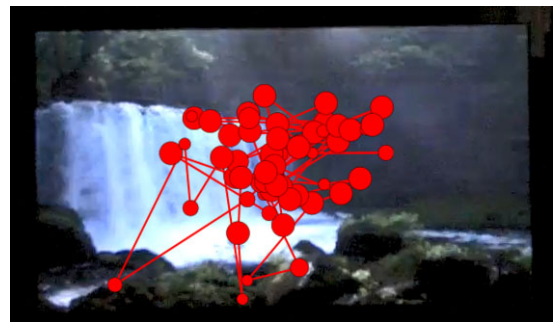
(e) 1.0 倍速 (ミュージカル [98] より引用).



(f) 3.0 倍速 (ミュージカル [98] より引用).



(g) 1.0 倍速 (自然 [90] より引用).



(h) 3.0 倍速 (自然 [90] より引用).

図 5.4: 注視点の変化の例.

5.3.2 注視点の標準偏差（水平方向・垂直方向）

注視点の広がりとして、注視点の水平方向の標準偏差と垂直方向の標準偏差を算出する。その結果を図 5.5 に示す。水平方向において、どのジャンルでも再生速度が速くなるに従い、標準偏差も小さくなる傾向が見られた。垂直方向においては、再生速度の違いに関する傾向は見られなかった。

5.3.3 1 要因分散分析

各ジャンルにおける再生速度間の注視点の標準偏差（水平方向・垂直方向）の違いを明確にするために行なった 1 要因分散分析の結果を表 5.3 と表 5.4 に示す。

水平方向においては全てのジャンルで有意差があり、垂直方向間ではテニス映像のみ有意差があった。この表の F 値は、群間および群内の平均 2 乗の比として計算し、この値に基づいて、F 分布表から有意水準 5% で有意差があるかを判定した。

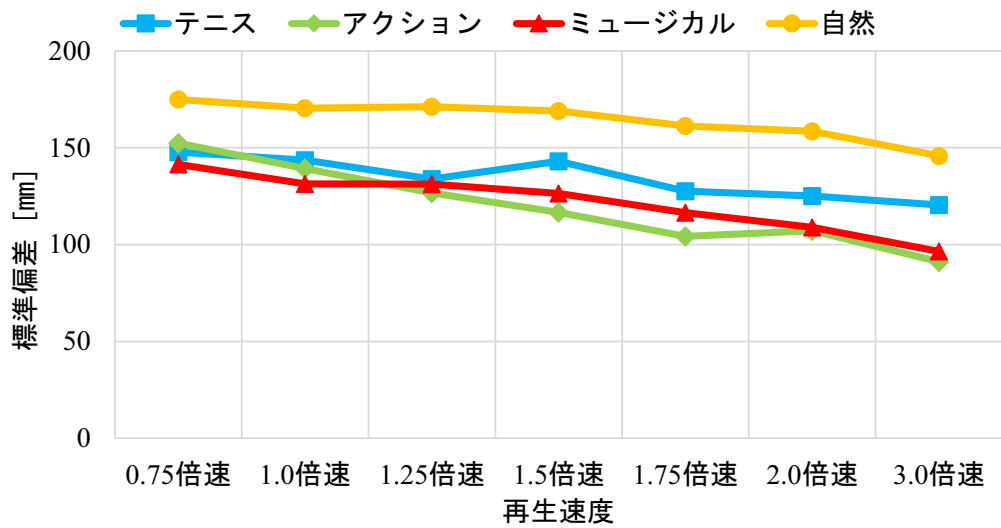
5.3.4 多重比較

前項の結果から、有意差があったジャンルについて Holm 法における多重比較を行なった。有意差があった再生速度の組を表 5.5 と表 5.6 に示す。

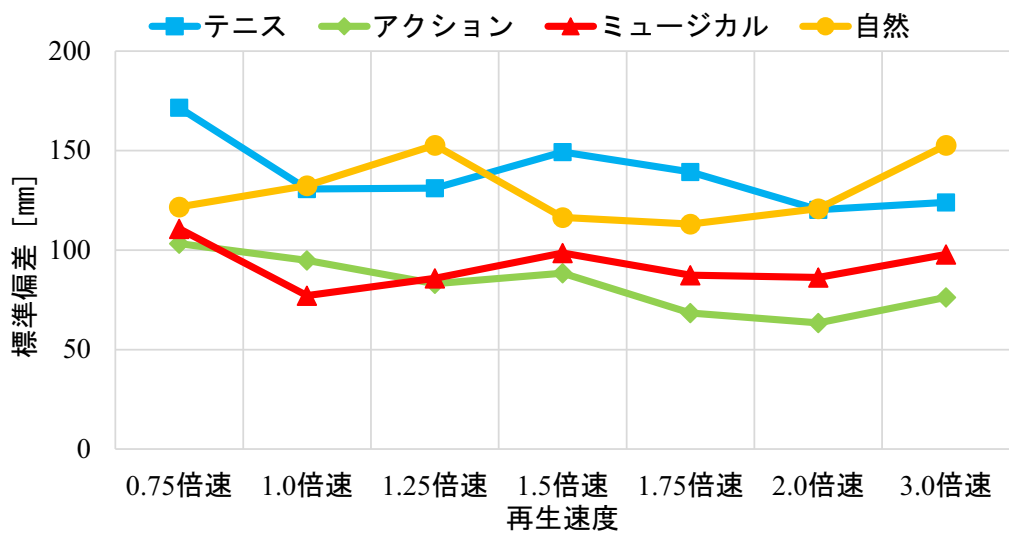
水平方向では、テニス、アクション、ミュージカル映像のいくつかの再生速度の組で有意差があり、再生速度が速い方の標準偏差が小さくなった。一方で、自然映像は有意差がある再生速度の組がなかった。垂直方向では、テニス映像の 0.75 倍速といくつかの再生速度の組のみ有意差があった。

5.4 考察

本節では、実験結果の 1 要因分散分析の結果から、各再生速度の違いが水平方向と垂直方向の標準偏差に与えた影響について考察する。以降、水平方向の標準偏差、垂直方向の標準偏差、再生速度の影響に関する考察を順に述べる。



(a) 水平方向の標準偏差.



(b) 垂直方向の標準偏差.

図 5.5: 各ジャンル映像における注視点の標準偏差.

表 5.3: 1 要因分散分析結果（水平方向の標準偏差）.

ジャンル	F 値	有意差 ($p < 0.05$)
テニス	$F(6, 138) = 6.321$	あり
アクション	$F(6, 138) = 15.475$	あり
ミュージカル	$F(6, 138) = 7.309$	あり
自然	$F(6, 138) = 3.241$	あり

表 5.4: 1 要因分散分析結果（垂直方向の標準偏差）.

ジャンル	F 値	有意差 ($p < 0.05$)
テニス	$F(6, 138) = 4.290$	あり
アクション	$F(6, 138) = 2.018$	なし
ミュージカル	$F(6, 138) = 1.004$	なし
自然	$F(6, 138) = 2.012$	なし

5.4.1 水平方向の標準偏差

水平方向においてはテニス、アクション、ミュージカル映像のいくつかの再生速度の組で有意差があり、再生速度が速い方の標準偏差が小さくなった。一方で、自然映像は有意差がある再生速度の組がなかった。

テニス、アクション、ミュージカル映像で有意差があったことから、5.1 節で述べた、再生速度が速い場合に注視点の分布が狭まる、再生速度が遅い場合に注視点の分布が広がるという仮説が支持された。5.1 節で述べたように、映像を理解するための視行動の戦略が再生速度により変化することを確認した。

等倍速（再生速度：1.0 倍速）の映像では、現実世界での物体や人物の動きと同様の速さで映像中の視対象を見ることが可能である。そのため、視対象の動きを追従する、様々な視対象を見ることで、映像内容を理解しようとしていたと考えられる。一方で、速い再生速度の映像では、その視対象の動きが速くなる。このことで、等倍速では追うことができていた視対象の動きや様々な視対象を見る動きに制限がかかったと考えられる。そのため、追従を諦めて、映像全体を俯瞰するように、視線をある 1 点に集めることで、周辺視

表 5.5: 有意差があった再生速度の組 (水平方向の標準偏差).

ジャンル	有意差があった組	t 値
テニス	0.75 倍速 (147.746) - 1.75 倍速 (127.605)	$t(23) = 3.378$
	0.75 倍速 (147.746) - 2.0 倍速 (125.090)	$t(23) = 3.416$
	0.75 倍速 (147.746) - 3.0 倍速 (120.459)	$t(23) = 3.826$
	1.0 倍速 (143.613) - 2.0 倍速 (125.090)	$t(23) = 3.461$
	1.5 倍速 (143.045) - 2.0 倍速 (125.090)	$t(23) = 3.519$
アクション	0.75 倍速 (152.376) - 1.25 倍速 (126.630)	$t(23) = 4.276$
	0.75 倍速 (152.376) - 1.5 倍速 (116.598)	$t(23) = 5.154$
	0.75 倍速 (152.376) - 1.75 倍速 (104.232)	$t(23) = 7.559$
	0.75 倍速 (152.376) - 2.0 倍速 (107.098)	$t(23) = 5.995$
	0.75 倍速 (152.376) - 3.0 倍速 (91.126)	$t(23) = 8.504$
	1.0 倍速 (139.283) - 1.75 倍速 (104.232)	$t(23) = 4.618$
	1.0 倍速 (139.283) - 3.0 倍速 (91.126)	$t(23) = 4.606$
	1.25 倍速 (126.630) - 1.75 倍速 (104.232)	$t(23) = 4.614$
	1.25 倍速 (126.630) - 3.0 倍速 (91.126)	$t(23) = 5.453$
ミュージカル	0.75 倍速 (141.390) - 1.75 倍速 (116.496)	$t(23) = 4.305$
	0.75 倍速 (141.390) - 2.0 倍速 (108.915)	$t(23) = 3.305$
	0.75 倍速 (141.390) - 3.0 倍速 (96.456)	$t(23) = 4.909$
	1.0 倍速 (131.417) - 3.0 倍速 (96.456)	$t(23) = 4.683$
	1.25 倍速 (131.216) - 3.0 倍速 (96.456)	$t(23) = 4.079$
	1.5 倍速 (126.396) - 2.0 倍速 (108.915)	$t(23) = 3.495$

表 5.6: 有意差があった再生速度の組 (垂直方向の標準偏差).

ジャンル	有意差があった組	t 値
テニス	0.75 倍速 (171.5) - 1.0 倍速 (130.7)	$t(23) = 3.712$
	0.75 倍速 (171.5) - 1.25 倍速 (131.1)	$t(23) = 3.921$
	0.75 倍速 (171.5) - 2.0 倍速 (120.3)	$t(23) = 4.889$

を活用した映像理解を試みた可能性が考えられる。

ジャンルの影響として、テニス映像においては、アクション、ミュージカル映像と比較して標準偏差があまり小さくならなかった。この理由としては、テニス映像の内容を理解するために、ラリーを追うことだけに集中した実験参加者が多かった可能性が考えられる。また、本実験で使用したテニス映像は垂直方向にラリーをするもので、水平方向の違いが明確に現れなかった可能性が考えられる。アクション、ミュージカル映像では、テニス映像のように映像の中心となるような視対象の動きはなく、様々な視対象が存在するため、より明確な違いが見られたと考えられる。一方で、自然映像では、再生速度に従って水平方向の標準偏差が少し小さくなったが、それは再生速度の組で有意差がある程ではなかった。その理由としては、滝が流れ落ちる映像で視対象が大きく動かないことやカメラワークが固定されたもので、再生速度によって視線の動きが変わることがない映像であったことが考えられ、5.2.2 項で述べたように、各映像シーンに対する視線の動きの仮説を支持するものであった。

5.4.2 垂直方向の標準偏差

垂直方向で有意差があったのはテニス映像のみで、0.75 倍速といくつかの再生速度の組において有意差があった。この理由としては、0.75 倍速の映像は、通常よりもラリーが遅く、実験参加者がラリー以外にも視線を動かす余裕があったことが考えられる。前項でも述べたように、テニス映像はラリーを追うことに主眼をおいて見る人が多い。しかし、0.75 倍速において、そのラリー自体がゆっくりとした動作であった。このため、ラリーを追う興味よりも選手がどのようにボールを待ち構えていたか、どのような動作でボールを返したのかに興味を持った可能性が考えられる。そこに注目する視線の動きから、画面の上端と下端にいる選手を交互に見る動きが活発になって、違いとして現れた可能性が考えられる。

テニス映像以外のジャンルでは、有意差が認められなかった。この理由としては、再生速度が遅くても視対象の垂直方向の動きがあまり発生していなかったことが考えられる。特に、アクションとミュージカル映像では、映画撮影で用いられているシネマスコープと呼ばれるアスペクト比 2.35 : 1 (= 12 : 5) である。そのため、フルハイビジョンのテレビに映し出す際には上下に黒の帯が入る映像である (図 5.2 (b) 及び図 5.2 (c))。このため、他の映像と比較して垂直方向の視線の動きが発生しにくかった可能性が考えられる。自然

映像では、前項で述べたように、再生速度によって視線の動きが変わることがない映像であったことが考えられる。

5.4.3 再生速度の影響

本章で検証した再生速度の影響について、考察する。テニス、アクション、ミュージカル映像のような視対象である物体や人物がよく動くものに対して、再生速度の違いにより、注視点の標準偏差に違いが見られた。このことから、再生速度の違いにより、視行動の戦略が変化していることが示された。特に、有意差があった結果が多く、再生速度の影響が出ていたのは3.0倍速であった。5.1節で述べたオンライン講義の理解度を検証した研究 [94, 95] では、2.0倍速が効率的な映像視聴戦略であるとされている。このことと実験結果から、2.0倍速を超える映像では、2.0倍速までの視線の動きよりも強く再生速度に影響された可能性が考えられる。このことから、3.0倍速の視聴は再生速度として有効な範囲でないことが示唆された。

5.5 まとめ

本章では、第1章で述べた3つの視聴方法の違いのうち、再生速度(0.75~3.0倍速)の違いについて、視線計測実験を行ない、注視点の分析を行なった。

その分析および検定結果から、テニス、アクション、ミュージカル映像のように動きがある映像では、再生速度が速くなるに従って注視点分布が狭くなり、ある1点に視線が集まること、自然映像のようなカメラワークが固定された視対象を俯瞰した映像では再生速度によってあまり違いが見られないことを確認した。このことから、再生速度が速い場合、映像中の視対象の速い動きに視線を合わせ続けることを諦めて、視線をある1点に集め、映像全体を俯瞰する視線の動きが生じ、注視点の分布が狭まる。再生速度が遅い場合、映像中の視対象の動きに視線を合わせたり、複数の視対象を往復したりすることにより、様々な場所を見ることで注視点の分布が広がる、という仮説が支持され、再生速度の影響が明らかになった。この結果から、映像内容を理解するための視行動の戦略を、再生速度により変えている可能性が示唆された。

第6章

むすび

本章では、本論文でこれまで述べた内容を総括し、今後の課題と展望について述べる。

6.1 総括

4K・8K テレビ，劇場の IMAX[®] や 4DX[®] / MX4D[®]，Netflix や Hulu などのオンライン映像ストリーミングサービスなどの技術が進歩している。従来のテレビでの視聴が，技術の進歩とともに大画面・サラウンド音響を使用した迫力感がある映像の近距離・様々な方向からの視聴へ移り変わりつつある。また，倍速再生や飛ばし再生などの多様な再生方法も映像視聴方法の1つとして用いられつつある。そこで本研究では，最新の映像表示技術を用いた大画面・広画角，サラウンド音響環境での臨場感がある映像視聴を想定し，映像視聴方法の違いが，人の映像理解に与える影響を明らかにすることを目指した。具体的には，視線の動き（注視）に着目して分析することで，視聴方法に起因する視聴者の注視の違いを把握することができることから，映像理解のために必要な要素への注視に関する基礎的な知見を得ることができると考えた。映像視聴時の視線計測は従来，様々なものが行なわれているが，映像内容や映像品質など映像パラメータの違いを検証したものになっている。その際の映像視聴方法は，ITU 勧告に従ったものが多いが，実際の映像視聴時に，この勧告通りに視聴することは稀である。そこで，本論文において視聴方法の違いに着目した。具体的には，以下の3つの視聴方法の違いについて実験をして検証した。

- (a) 視聴位置（視聴距離，視聴方向）の違い
- (b) 音響システム（モノラル，ステレオ，サラウンド）の違い

(c) 再生速度 (0.75~3.0 倍速) の違い

各々の実験結果に基づいて、各映像視聴方法における注視の特徴を分析した。

まず、第2章で視線計測システムの開発として、眼球運動と頭部運動の同時計測装置を提案した。近距離かつ広画角の映像視聴時の視線計測を実現するシステムである。人が眼球運動のみで無理のない映像視聴ができる範囲は、水平方向 ± 15 度以内、垂直上方向 8 度以内、垂直下方向 12 度以内と人の視野範囲 (水平左右方向 100 度) に比べて狭い範囲である。近距離かつ広画角の映像視聴時にはこの範囲を超えることから眼球運動に加え、頭部運動を生じさせ映像視聴を実現している。このため、頭部運動を加味した視線計測装置が不可欠であることから、本システムを開発し、水平方向 ± 60 度、垂直方向 ± 45 度の広い範囲の視線計測を実現した。この開発した視線計測システムの精度評価実験を行ない、装置の有用性を確認した。

続いて第3章では、第2章で開発した視線計測システムを使用し、視聴位置 (視聴距離、視聴方向) を変化させた際の視線を計測し、その影響について平均注視点から分析した。一般家庭内でのテレビの視聴時には様々な方向から視聴するという報告がある。また、劇場などの劇場においても様々な視聴位置から映像を視聴することが多いことから、その影響について検証した。その結果、視聴位置により平均注視位置は変化し、視聴位置により視対象が変化する可能性があることが示された。

さらに第4章では、第2章で開発した視線計測システムを使用し、音響システム (モノラル、ステレオ、サラウンド) の違いが、視線の動きに及ぼす影響を注視分布から分析した。サラウンド音響システムでは、リアスピーカやバックスピーカなどスピーカの数を追加することで、臨場感がある音響空間を構築することが可能であり、サラウンド音響でその音響空間から発生する音を聴くことが可能である。映画ではサラウンド音響を収録し、劇場や家庭内でサラウンド音響環境を構築し、視聴する機会も増えつつある。サラウンド音響に着目した研究では、実験参加者へ人の数を数えるタスクを課した際に、視野外からのサラウンド音によって視覚的注意が引き寄せられ、視覚的注意領域が広がるという報告がある。しかし、タスクを課さずに自然な条件下での映像視聴時の検証をした研究は行なわれていない。そこで、自然な条件下での映像視聴時のサラウンド音響の効果を明らかにするため視線計測実験を行なった。その結果、ステレオおよびサラウンドの音響条件において、モノラルと比較して注視領域面積が有意に広がり、注視点分布が広がることを確認

した。この結果からユーザが映像を視聴する際に、視線移動を促すスピーカ配置による映像視聴環境を構築することにより、映像内の情報を満遍なく取り込むために、画面全体に広く動かすような視線移動を誘導させることが可能であることを示した。

そして第5章では、再生速度（0.75～3.0倍速）の影響を検証を行なった。異なる再生速度の映像視聴時の視線を計測し、再生速度の影響を注視分布から分析した。オンライン映像ストリーミングサービスの登場により、パソコンやスマートフォンなどの機器で大量の映像を視聴すること人が増えてきている。その映像視聴の際の時間短縮手法として、再生速度を早める倍速視聴を行なう人が増えてつつある一方で、第3章や第4章での実験などこれまでの視線計測実験は、基本的に等倍速（1.0倍速）で映像を視聴することを前提としている。そこで、再生速度を変化させて映像を視聴した際に表れる視線の違いについて、再生速度の影響を明らかにすることを目指した。その結果から、テニス、アクション、ミュージカル映像のように動きのある映像で、再生速度が速くなるに従って注視点分布が狭くなり、ある1点に視線を集めていること、自然映像のようなカメラが固定された俯瞰映像では再生速度間に違いが見られないことを確認した。この結果から、映像内容の理解のための視行動の戦略を、再生速度により変えている可能性が示唆された。

以上の実験結果から、映像理解に対する基礎的な知見が得られた。具体的には、視聴位置の変化に対して、平均注視点が変化すること、ステレオおよびサラウンドの音響条件に対して、モノラルと比較して注視領域面積が広がること、再生速度の変化に対して、速くなるに従って注視点の分布が狭まり、遅くなると注視点の分布が広がることを示した。これらの知見の活用から、視聴方法に適した視聴環境の構築や映像制作者へのフィードバックへの応用が期待される。

6.2 今後の課題と展望

前節で述べたように、本論文では3つの視聴方法の違いについて実験を行なった。以下、それぞれについて今後の課題と展望を述べる。

6.2.1 視聴位置の違いに関する課題

第3章で述べた研究では、視聴位置（視聴距離、視聴方向）の違いに対して注視点分析を行なった。しかし、視聴位置は画面を中心を基準として左右方向と視聴距離を変化させ

たのみで、網羅的に様々な方向から視聴した際の分析は行なっていない。このため、画面に対してさらに多くの視聴位置で実験することは今後の課題の1つである。また実環境下として、劇場や家庭内では、複数人での視聴状況も考えられることから、複数人同時視聴時の視線計測、注視点分析を行なう必要があると考えている。

6.2.2 音響システムの違いに関する課題

第4章で述べた研究では、音響システムの違いに対して注視点分布の分析を行なった。その結果、ステレオおよびサラウンドの音響条件において、モノラルと比較して注視点領域面積が有意に広がり、注視点分布が広がることを確認した。一方で、シーンの画像特徴が音よりも強く影響していた可能性を示唆した。つまり、音響システムよりも視線が誘導されやすい画像特徴が存在することが考えられる。このことから、音響システムの影響をさらに分析するため、動画像そのものの顕著性や視対象の数など、動画像自体のパラメータを詳しく分析する必要があると考えている。

6.2.3 再生速度の違いに関する課題

第5章で述べた研究では、再生速度（0.75～3.0倍速）の違いに対して注視点分布の分析を行なった。再生速度が速くなるに従って注視点分布が狭くなり、ある1点に視線を集める映像ジャンル、再生速度になっても違いが見られない映像ジャンルがあることを確認した。一方で、短時間の音響情報を除去した映像の動きに対する再生速度の違いの検証に留まっている。実際の映画やオンライン講義などの長時間の視聴での実験や、音響情報を含んだ状況下での実験を行なって分析する必要がある。また、映像の再生速度と視線の速度など注視点以外の観点からの分析も課題の1つである。

6.2.4 今後の展望

映像表示技術、通信技術、放送技術の発達から、映像視聴方法は多様化しており、高品質の映像視聴体験をすることが可能になってきている。このことから、映像制作者へのフィードバックや視聴環境の構築への貢献のために、本研究で明らかにした視聴方法と注視点との関係性に基づいて、視線の動き以外の観点からもさらに詳しく映像理解について、検証する必要があると考えている。具体的には、映像理解は、映像の視聴方法、映像内容

自体の影響，視聴者の意識など様々な要因が複雑に関係しているため，それらの関係性を細分化して突き止めることで，映像理解が高まる映像視聴要件について明らかにする必要がある。

本研究の発展により，これまでの映像視聴の枠を超えた新たな映像視聴体験を創造することで，誰もが楽しめる身近な映像視聴が創出されることを期待している。

謝辞

本論文は、名古屋大学 大学院情報科学研究科 博士後期課程および大学院情報学研究科 協力研究員時代において筆者が行なった研究をまとめたものです。この研究は、多くの先生方からの御指導や、出口研究室、井手研究室、旧村瀬研究室、の先輩・同輩・後輩、その他の友人達による数多くの御支援、御協力なくしては、本論文の執筆まで至らなかったと思います。この場を借りて、皆様への謝意を表します。

まず最初に、本論文の主査を務められ、指導して頂いた名古屋大学 大学院情報学研究科 出口大輔 准教授に心より感謝致します。出口先生には、第5章の研究のアイディアの他、原稿や発表資料に関し、構成から主張点、細かな表現に至るまで、数多くの的確かつ有益な御指摘を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

本論文の副査を努められ、長年に渡り指導して頂いた名古屋大学 大学院情報学研究科 村瀬洋 名誉教授に心より感謝致します。筆者が博士後期課程入学を機に、村瀬研究室に入ってから現在まで、常に丁寧かつ熱心なる御指導と御鞭撻を賜りました。また、素晴らしい研究室環境、および、国内外における数多くの発表の機会を与えていただき、常に高い意識で研究に取り組むことができました。ここに多大なる謝意を表します。

本論文の副査である名古屋大学 大学院情報学研究科 井手一郎 教授に深謝の意を表します。井手先生は、筆者の各原稿執筆の際に、体裁や文字種のような細かな表現など、いつも細部に至るまで御確認して下さいました。特に、筆者の苦手とする英語表現に関し、多くの御助言を頂いたことは、筆者の成長の大きな糧となりました。本当に有難う御座いました。

本論文の副査である名古屋大学 大学院情報学研究科 長尾確 教授に深く感謝致します。大学院情報科学研究科 メディア科学専攻の専攻長として、副査を引き受けて頂きました。博士後期課程の入学試験から在学中、現在に至るまで、研究の本質となるような意見を聴くことが多く、筆者の成長の大きな糧となりました。本当に有難う御座いました。

本論文の副査である名古屋大学 大学院情報学研究科 工藤博章 准教授に感謝致します。工藤先生には、御多忙の中、本論文に関し多くの的確な御指摘を頂きました。また、東海大学大学院情報通信学研究科修士課程の頃より、電子情報通信学会 IMQ 研究会などでお世話になりました。心より感謝致します。

人間環境大学 環境科学部 平山高嗣 教授に深く感謝致します。平山先生は視線研究の観点から数多くの御助言を頂き、研究の進め方やまとめ方などの根本的な議論から、論文投稿原稿や発表資料まで、幾度となく拙文の御校閲と有益な御指摘を賜りましたこと謝辞筆舌に尽くし難く、唯、唯、深く感謝申し上げる次第です。

国立研究開発法人 理化学研究所 情報統合本部 ガーディアンロボットプロジェクト 感覚データ認識研究チーム 川西康友 チームリーダーに深く感謝いたします。研究議論を始め、プログラミングやソフトウェアの使い方など、研究室内のことで数多くの御助言を頂き、充実した研究室生活を送ることができました。ここに深く深く謝意を表します。

東海大学 大学院総合理工学研究科 山田光穂 元教授に謝意を表します。山田先生は、主に東海大学在学時の研究である第2章及び第3章と第4章の実験など、研究全般の御指導を頂きました。筆者が名古屋大学 大学院情報科学研究科博士後期課程に進学後も、研究の進捗状況を気に掛けて下さりました。また、御多忙の中でも共同研究の実験実施や論文誌への投稿の際には的確な御指摘を数多く頂きました。心より御礼申し上げます。

また、筆者の東海大学在学時の山田先生の研究室の後輩であった望月信哉氏を始め、第4章に関する研究の共同研究でお世話になった東海大学山田研究室の皆様方に深く感謝致します。山田研究室の学生の皆様の力がなければ被験者実験の実施、論文の執筆ができたのは、皆様のおかげであることは多言を要しません。この場をお借りして、厚く御礼申し上げます。

筆者が研究を進めてきた出口研究室、井手研究室、旧村瀬研究室諸氏に心より感謝致します。ディスカッション・ミーティングで御討論頂いたり、研究室生活を楽しく共に過ごさせて頂きました。特に、博士後期課程の学生が少ない中、筆者の在学時の博士後期課程の留学生であった Marc Aurel Kastner 氏、Mahmud Dwi Sulistiyo 氏に感謝します。両氏には研究室生活のことや英語の表現などについて、幾度も相談に乗って頂きました。

また、出口研究室 秘書の蒲文代 氏、田中弘美氏には、出張や事務手続き等で、大変御世話になりました。多くの事務手続きを代行して下さい、また必要事項の伝達を行って頂いたのは、円滑に研究室生活を送る上で欠かせない御助力でした。本当に有難うございま

した.

また、本論文の図 1.1 のホームシアターの視聴の様子撮影に快くご協力いただいたホームシアター工房名古屋 前野憲一氏に心より感謝致します.

その他、先輩方、後輩方、友人方、学会活動や勉強会などで御交流頂いた方々など、研究や私生活などにおいて筆者を励まし支えてくれた、ここに挙げきれない多くの方々に厚謝致します.

最後に、今日に至るまでの研究生生活を様々な面から支え、見守り続けてくれた、母、姉、弟に感謝致します.

参考文献

- [1] NHK 放送技術研究所, “Future vision 2030–2040,” https://www.nhk.or.jp/strl/future_vision/. (参照 Nov. 1st, 2022)
- [2] IMAX Corporation, “IMAX[®],” <https://www.imax.com/ja/>. (参照 Nov. 1st, 2022)
- [3] CJ 4DPLEX, “4DX[®],” <https://www.cj4dx.com/jp/>. (参照 Nov. 1st, 2022)
- [4] MediaMation, Inc., “MX4D[®],” <http://mx-4d.com/>. (参照 Nov. 1st, 2022)
- [5] 佐々木興業 (株), “SCREEN X とは? — シネマサンシャイン SCREEN X 特設サイト,” <https://www.cinemasunshine.co.jp/screen-x/about/>. (参照 Nov. 1st, 2022)
- [6] MMD 研究所, “動画視聴に関する利用実態調査,” https://mmdlabo.jp/investigation/detail_1993.html. (参照 Nov. 1st, 2022)
- [7] 樋渡涓二, “テレビジョンの画質とその評価,” テレビ誌, vol.19, no.10, pp.676–684, Oct. 1965.
- [8] 大谷禱夫, 藤尾孝, 浜崎孝幸, “高品位テレビジョンの画面方式と主観画質,” NHK 技術, vol.28, no.4, pp.161–179, Feb. 1977.
- [9] 長谷川敬, 井上正之, 三橋哲雄, “テレビジョン画像の評価技術 (第 4 回),” テレビ誌, vol.37, no.12, pp.1040–1050, Dec. 1983.
- [10] 三橋哲雄, “マルチメディアと画像の主観評価,” 日写誌, vol.59, no.1, pp.179–185, Feb. 1996.
- [11] 三橋哲雄, “画質の主観評価技術,” 映情学誌, vol.53, no.9, pp.1195–1198, Sep.

- 1999.
- [12] ITU-R BT.500-3, “Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures,” Jan. 2012.
- [13] ITU-T P.910, “Subjective video quality assessment methods for multimedia applications,” Apr. 2008.
- [14] ITU-T J.140, “Subjective picture quality assessment for digital cable television systems,” Mar. 1998.
- [15] ITU-R BT.710, “Subjective assessment methods for image quality in high-definition television,” Nov. 1998.
- [16] ITU-R BT.1129, “Subjective assessment of standard definition digital television (SDTV) systems,” Feb. 1998.
- [17] ITU-R BT1210-4, “Test materials to be used in assessment of picture quality,” Jan. 2012.
- [18] 小峯一晃, “生体情報を用いた映像評価技術,” NHK 技研 R&D, no.159, pp.13–22, Sep. 2016.
- [19] 森田寿哉, 原澤賢充, “映像視聴と生体への影響,” 映情学誌, vol.60, no.11, pp.1740–1744, Nov. 2006.
- [20] Y. Sawahata, K. Komine, T. Morita, and N. Hiruma, “Decoding humor experiences from brain activity of people viewing comedy movies,” PLoS One, vol.8, no.12, pp.1–9, Dec. 2013.
- [21] 藤村優也, 綿貫啓一, 楓和憲, 侯磊, 工麻理子, 三宅秀之, “動画視聴時のポジティブ・ネガティブ情動の心理尺度に基づく評価と脳活動計測,” 日本機械学会論文集, vol.82, no.842, pp.1–11, Oct. 2016.
- [22] 渡部叡, “テレビ画像の注視点,” テレビジョン, vol.18, no.10, pp.610–614, Nov. 1964.
- [23] 山田光穂, 福田忠彦, “視線の動きを用いたテレビ画像の分析,” テレビ誌, vol.40, no.2, pp.121–128, Feb. 1986.

-
- [24] 森田寿哉, 福田忠彦, “眼球運動とその画質評価への応用,” テレビ誌, vol.45, no.3, pp.305–310, Mar. 1991.
- [25] R.B. Goldstein, R.L. Woods, and E. Peli, “Where people look when watching movies: Do all viewers look at the same place?,” *Comput. Biol. Med.*, vol.37, no.7, pp.957–964, Jul. 2007.
- [26] M. Dorr, T. Martinetz, K.R. Gegenfurtner, and E. Barth, “Variability of eye movements when viewing dynamic natural scenes,” *J. Vis.*, vol.10, no.10, pp.1–17, Aug. 2010.
- [27] Y. Fang, M. Emoto, R. Nakashima, K. Matsumiya, I. Kuriki, and S. Shioiri, “Eye-position distribution depending on head orientation when observing movies on ultrahigh-definition television,” *ITE Trans. Media Technol. Appl.*, vol.3, no.2, pp.149–154, Apr. 2015.
- [28] K. Breeden and P. Hanrahan, “Gaze data for the analysis of attention in feature films,” *ACM Trans. Appl. Percept.*, vol.14, no.4, pp.1–14, Sep. 2017.
- [29] A. Bruckert, M. Christie, and O.L. Meur, “Where to look at the movies: Analyzing visual attention to understand movie editing,” *Behav. Res. Published Online*, Aug. 2022.
- [30] J. Tipples, “Does your gaze direction and head orientation shift my visual attention?,” *Neuroreport*, vol.10, no.16 pp.3443–3447, Nov. 1999.
- [31] J.K. Hietanen, “Eye gaze is not unique: Automatic orienting in response to uninformative arrows,” *Psychon. Bull. Rev.*, vol.9, pp.314–318, Jun. 2002.
- [32] 小川時洋, “他者の視線方向による注意シフトの特性について,” *基礎心理研*, vol.21, no.1, pp.31–35, Sep. 2002.
- [33] C.K. Friesen, J. Ristic, and A. Kingstone, “Attentional effects of counterpredictive gaze and arrow cues,” *J. Exp. Psychol.: Hum. Percept. Perform.*, vol.30, pp.319–329, Apr. 2004.
- [34] 橋本由里, 宇津木成介, “ヒトの視線と矢印記号による視覚的注意喚起,” *人間工学*,

- vol.41, no.6, pp.337–344, Dec. 2005.
- [35] B.S. Gibson and A. Kingstone, “Visual attention and the semantics of space: Beyond central and peripheral cues,” *Psychol. Sci.*, vol.17, no.7, pp.622–627, Jul. 2006.
- [36] A. Frischen, A.P. Bayliss and S.P. Tipper, “Gaze cueing of attention: Visual attention, social cognition, and individual differences,” *Psychol. Bull.*, vol.133, no.4, pp.694–724, Jul. 2007.
- [37] U. Rajashekar, I. van der Linde, A. C. Bovik and L. K. Cormack, “GAFFE: A Gaze-Attentive Fixation Finding Engine,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol.17, no.4, pp.564–573, Apr. 2008.
- [38] H. Liu and I. Heynderickx, “Visual attention in objective image quality assessment: Based on eye-tracking data,” *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol.21, no.7, pp.971–982, Mar. 2011.
- [39] A. Marotta, M. Casagrande, and J. Lupianez, “Object-based attentional effects in response to eye-gaze and arrow cues,” *Acta Psychol.*, vol.143, no.3, pp.317–321, Jul. 2013.
- [40] H. Alers, J.A. Redi, H. Liu, and I. Heynderickx, “Effects of task and image properties on visual-attention deployment in image-quality assessment,” *J. Electron. Imaging*, vol.24, no.2, pp.1–15, Apr. 2015.
- [41] 畑田豊彦, “視野角に対する画像の臨場感の客観測定,” 映像情報メディア学会 卓越研究データベース, <https://dbnst.nii.ac.jp/pro/detail/1147/>. (参照 Nov. 1st, 2022)
- [42] I.P. Howard, “Stability of the visual world,” *Visual Motion and its Role in the stabilization of Gaze*, eds. by F.A. Miles and J. Waallman, pp.103–118, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1993.
- [43] B. Biguer, C. Prablance, and M. Jeannerod, “The contribution of coordinated eye and head movements in hand pointing accuracy,” *Exp. Brain. Res.*, vol.55,

- no.3, pp.462–469, Jul. 1984.
- [44] 角友起, 岩本義輝, “サッケード運動学習の脳内メカニズム,” 視覚の科学, vol.31, no.1, pp.12–18, Mar. 2010.
- [45] A.T. Bahill, D. Adler, and L. Stark, “Most naturally occurring human saccades have magnitudes of 15 degrees or less,” *Invest. Ophth. Vis. Sci.*, vol.14, no.6, pp.468–469, Jun. 1975.
- [46] M. Gresty, “Coordination of head and eye movements to fixate continuous and intermittent targets,” *Vision Res.*, vol.14, no.6, pp.395–403, Jun. 1974.
- [47] G.R. Barnes, “Vestibulo-ocular function during co-ordinated head and eye movements to acquire visual targets.,” *J. Physiol.*, vol.287, no.1, pp.127–147, Feb. 1979.
- [48] 成田長人, 金澤勝, 岡野文男, “超高精細・大画面映像の鑑賞に適した画面サイズと観視距離に関する考察,” 映情学誌, vol.55, no.5, pp.773–780, May 2001.
- [49] M. Ardito, “Studies of the influence of display size and picture brightness on the preferred viewing distance for HDTV programs,” *SMPTE J.*, vol.103, no.8, pp.517–522, Aug. 1994.
- [50] A.M. Lund, “The influence of video image size and resolution on viewing-distance preferences,” *SMPTE J.*, vol.102, no.5, pp.406–415, May 1993.
- [51] 窪田悟, 岸本和之, 合志清一, 今井繁規, 五十嵐陽一, 松本達彦, 芳賀秀一, 中枝武弘, 馬野由美, 小林雄二, “液晶テレビの好ましい観視距離,” 映情学誌, vol.65, no.8, pp.1215–1220, Aug. 2011.
- [52] 窪田悟, 嶋田淳, 岡田想, 中村芳知, 城戸恵美子, “家庭におけるテレビの観視条件,” 映情学誌, vol.60, no.4, pp.597–603, Apr. 2006.
- [53] B.D. Corneil and D.P. Munoz, “The influence of auditory and visual distractors on human orienting gaze shifts,” *J. Neurosci.*, vol.16, no.24, pp.8193–8207, Dec. 1996.
- [54] C. Rorden and J. Driver, “Does auditory attention shift in the direction of an

- upcoming saccade?,” *Neuropsychologia*, vol.37, no.3, pp.357–377, Mar. 1999.
- [55] S. Shomstein and S. Yantis, “Control of attention shifts between vision and audition in human cortex,” *J. Neurosci.*, vol.24, no.47, pp.10702–10706, Nov. 2004.
- [56] C. Mendonça, O. Rummukainen, and V. Pulkki, “3D sound can have a negative impact on the perception of visual content in audiovisual reproductions,” *Proc. 21st Int. Conf. Auditory Display*, pp.138–143, Jul. 2015.
- [57] V. Korshunova, G.B. Remijn, S. Elischka, and C. Mendonca, “The impact of sound systems on the perception of cinematic content in immersive audiovisual productions,” *Proc. 12th IEEE Asia Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality*, pp.1–5, Mar. 2019.
- [58] S. Feiereisen, C.A. Russell, D. Rasolofoarison, and H. Schau, “From speed viewing to watching the end first: How streaming has changed the way we consume TV,” *The Conversation*,
<https://theconversation.com/from-speed-viewing-to-watching-the-end-first-how-streaming-has-changed-the-way-we-consume-tv-171646>. (参照 Nov. 1st, 2022)
- [59] ITU-R BT.710-4, “Subjective assessment methods for image quality in high-definition television,” Nov. 1998.
- [60] 鹿喰善明, “スーパーハイビジョンの研究開発とロンドンオリンピック,” *NHK 技研 R&D*, no.135, pp.30–43, Sep. 2012.
- [61] 川嶋喜美子, 岡本淳, “4k 映像の品質評価技術,” *NTT 技術ジャーナル*, vol.26, no.2, pp.68–71, May 2014.
- [62] K. Takemura, T. Yamakawa, J. Takamatsu, and T. Ogasawara, “Estimation of a focused object using a corneal surface image for eye-based interaction,” *J. Eye Mov. Res.*, vol.77, no.3(4), pp.1–9, Mar. 2014.
- [63] E. Miluzzo, T. Wang, and A.T. Campbell, “Eyephone: Activating mobile phones with your eyes,” *Proc. 2nd ACM SIGCOMM Workshop on Networking, Systems, and Applications on Mobile Handhelds*, pp.15–20, Aug. 2010.

-
- [64] E. Wood and A. Bulling, “Eyetable: Model-based gaze estimation on unmodified tablet computers,” Proc. 2014 Symposium on Eye Tracking Research and Applications, pp.207–210, Mar. 2014.
- [65] トビー・テクノロジー (株), “Tobii Pro Glasses 3,” <https://www.tobii.com/ja/products/eye-trackers/wearables/tobii-pro-glasses-3/>. (参照 Nov. 1st, 2022)
- [66] (株) クレアクト, “アイトラッキング (視線計測装置) ISCAN のご紹介,” <https://www.creact.co.jp/item/measure/eyetrackers/iscan/>. (参照 Nov. 1st, 2022)
- [67] (株) ナックイメーヂテクノロジー, “アイマークレコーダ,” <https://www.nacinc.jp/analysis/eyemark-recorder/>. (参照 Nov. 1st, 2022)
- [68] トビー・テクノロジー (株), “Tobii Pro スペクトラム,” <https://www.tobii.com/ja/products/eye-trackers/screen-based/tobii-pro-spectrum/>. (参照 Nov. 1st, 2022)
- [69] (株) クレアクト, “非接触型アイトラッカー (視線計測) FX3 のご紹介,” <https://www.creact.co.jp/item/measure/eyetrackers/eyetrackinginc/eti-fovio/>. (参照 Nov. 1st, 2022)
- [70] M. Yamada and T. Fukuda, “Definition of gazing point for picture analysis and its applications,” Syst. Comput. Japan, vol.18, no.8, pp.88–96, Aug. 1987.
- [71] M. Sugawara, M. Emoto, K. Masaoka, Y. Nishida, and Y. Shishikui, “Super hi-vision for the next generation television,” ITE Trans. Media Technol. Appl., vol.1, no.1, pp.27–33, Jan. 2013.
- [72] 野尻裕司, “スーパーハイビジョン概要,” 映情学誌, vol.61, no.5, pp.596–598, May 2007.
- [73] 西田幸博, “スーパーハイビジョンの映像パラメーターと国際標準化,” NHK 技研 R&D, no.137, pp.10–19, Jan. 2013.
- [74] 石井啓二, 薄井武順, 斎藤信雄, 清水直樹, 関昌彦, 石橋将, 野口康幸, 古谷崇, 山下武, 村井隆一, “スーパーハイビジョン用プラズマディスプレイの開発,” 映情学誌, vol.68, no.1, pp.41–46, Jan. 2014.
- [75] 栗田泰市郎, “薄型テレビにおける高画質化の技術動向,” 映情学誌, vol.61, no.9,

- pp.1267–1271, Sep. 2007.
- [76] 畑田豊彦, “生理光学 (16) 自然視画像と視覚特性,” *O plus E*, vol.74, pp.121–130, Jan. 1986.
- [77] 山田光穂, 福田忠彦, “大型ディスプレイ観察時の頭と目の動きの基本特性,” *NHK 技研 R&D*, vol.6, pp.48–62, Aug. 1989.
- [78] 福田亮子, 佐久間美能留, 中村悦夫, 福田忠彦, “注視点の定義に関する実験的検討,” *人間工学*, vol.32, no.4, pp.197–204, Aug. 1996.
- [79] 山田光穂, 福田忠彦, “画像における注視点の定義と画像分析への応用,” *信学論 (D)*, vol.J69-D, no.9, pp.1335–1342, Sep. 1986.
- [80] P.H. Tseng, R. Carmi, I.G. Cameron, D.P. Munoz, and L. Itti, “Quantifying center bias of observers in free viewing of dynamic natural scenes,” *J. Vis.*, vol.9, no.7, pp.1–16, Jul. 2009.
- [81] D. Parkhurst and E. Niebur, “Scene content selected by active vision,” *Spat. Vis.*, vol.16, no.2, pp.125–154, Jan. 2003.
- [82] D. Parkhurst, K. Law, and E. Niebur, “Modeling the role of salience in the allocation of overt visual attention,” *Vision Res.*, vol.42, no.1, pp.107–123, Jan. 2002.
- [83] R. Carmi and L. Itti, “Visual causes versus correlates of attentional selection in dynamic scenes,” *Vision Res.*, vol.46, no.26, pp.4333–4345, Dec. 2006.
- [84] B.W. Tatler, “The central fixation bias in scene viewing: Selecting an optimal viewing position independently of motor biases and image feature distributions,” *J. Vis.*, vol.7, no.14, pp.1–17, Nov. 2007.
- [85] D. Tweed, “Visual-motor optimization in binocular control,” *Vision Res.*, vol.37, no.14, pp.1939–1951, Jul. 1997.
- [86] C.E. Jack and W.R. Thurlow, “Effects of degree of visual association and angle of displacement on the “ventriloquism” effect,” *Percept. Mot. Ski.*, vol.37, no.3, pp.967–979, Dec. 1973.

-
- [87] J. Sato, K. Fukue, Y. Kinoshita, and K. Ozawa, “Relationship between gaze direction and sound localization in ventriloquism effect,” *Acoust. Sci. Technol.*, vol.32, no.1, pp.40–42, Jan. 2011.
- [88] S. Komiyama, “Subjective evaluation of angular displacement between picture and sound directions for HDTV sound systems,” *J. Audio Eng. Soc.*, vol.37, no.4, pp.210–214, Apr. 1989.
- [89] ITU-R BS.775-1, “Multichannel stereophonic sound system with and without accompanying picture,” Jul. 1994.
- [90] シンフォレストハイビジョンアーカイブス, “森林浴サラウンド ブルーレイ・エディション [映像遺産・ジャパントリビュート] ,” シンフォレスト, 2009. (Blu-ray Disc)
- [91] ITU-R BS.1770-4, “Algorithms to measure audio programme loudness and true-peak audio level,” Oct. 2015.
- [92] M. Yamada and T. Fukuda, “Quantitative evaluation of eye movements as judged by sight-line displacements: Comparison of eye-movement patterns during 525-line and HDTV viewing, and evaluation of moving images,” *SMPTE J.*, vol.95, no.12, pp.1230–1241, Dec. 1986.
- [93] 損害保険ジャパン (株), “損保ジャパン『Z世代映像研究課』設立! 【若者の動画視聴実態】を調査 Z世代の“快適”な視聴速度は1.5倍速、他世代と比べて約1.2倍のセリフ量をストレスなく理解していることが判明,” <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000188.000078307.html>. (参照 Nov. 1st, 2022)
- [94] 長濱澄, 森田裕介, “映像コンテンツの高速提示による学習効果の分析,” *日本教育工学会論文誌*, vol.40, no.4, pp.291–300, Feb. 2017.
- [95] D.H. Murphy, K.M. Hoover, K. Agadzhanian, J.C. Kuehn, and A.D. Castel, “Learning in double time: The effect of lecture video speed on immediate and delayed comprehension,” *Appl. Cogn. Psychol.*, vol.36, no.1, pp.69–82, Jan. 2022.
- [96] WOWOW, “Air-K 錦織圭 in 全豪オープン 2012,” 錦織圭出演, WOWOW, 2012.

(Blu-ray Disc)

- [97] F・ゲイリー・グレイ監督, “ワイルド・スピード ICE BREAK,” ヴィン・ディーゼル, ドウェイン・ジョンソン, ジェイソン・ステイサム, ミシェル・ロドリゲス, タイリース・ギブソン出演, NBC ユニバーサル・エンターテイメントジャパン, 2017.

(Blu-ray Disc)

- [98] マイケル・グレイシー監督, “グレイテスト・ショーマン,” ヒュー・ジャックマン, ザック・エフロン, ミシェル・ウィリアムズ, レベッカ・ファーガソン, センデイヤ出演, ウォルト・ディズニー・ジャパン, 2018. (Blu-ray Disc)

研究業績

本論文に関連する研究業績

学術雑誌

1. H. Takahira, K. Kikuchi, and M. Yamada, “A system for measuring gaze movement and hand movement simultaneously for hand-held devices,” *IEICE Trans. Commun.*, vol.E98-B, no.1, pp.51–61, Jan. 2015
2. 高比良英朗, 望月信哉, 山田光穂, “観視距離と視聴位置を変化させたときの視線分析,” *信学論 (D)*, vol.J99-D, no.3, pp.293–306, Mar. 2016.
3. 高比良英朗, 篠原未歩, 野坂祐介, 横内雅也, 山田光穂, 平山高嗣, 川西康友, 出口大輔, 井手一郎, 村瀬洋, “サラウンド映像視聴時の注視点分布の分析,” *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, vol.24, no.3, pp.195–204, Aug. 2022.

国際会議

1. H. Takahira, K. Kikuchi, and M. Yamada, “Development of measurement system of gaze movement and hand movement simultaneously,” *Proc. 7th International Workshop on Image Media Quality and its Applications*, pp.58–61, Sep. 2014.
2. H. Takahira, Y. Kawanishi, T. Hirayama, H. Murase, and D. Deguchi, “Analysis of gaze while viewing videos at various playback speeds,” *Proc. 29th International Display Workshops*, VHFp1-4L, Dec. 2022.

研究会・シンポジウム

1. 高比良英朗, 菊池慧, 山田光穂, “視線と手の動きの同時計測装置開発,” 信学技報, IMQ2014-4, May 2014.
2. 高比良英朗, 三浦彩音, 望月信哉, 山崎夢子, 山田光穂, “超高精細映像近距離視聴時の視線の解析,” 信学技報, IMQ2014-24, Dec. 2014.

全国大会・支部大会

1. 高比良英朗, 菊池慧, 山田光穂, “頭部運動・眼球運動と手の動きを検出するソフトウェア開発,” 2014 信学総大, A-21-5, Mar. 2014.

その他の研究業績

学術雑誌

1. 横山優樹, 高比良英朗, 望月信哉, 山田光穂, “奥行き移動する視標に対する輻輳と調節応答の解析,” 映情学誌, vol.69, no.10, pp.J298–J305, Oct. 2015.
2. S. Mochiduki, R. Watanabe, H. Takahira, and M. Yamada, “Analysis of head movement during gaze movement with varied viewing distances and positions,” IEICE Trans. Fundamentals, vol.E101-A, no.6, pp.892–899, June 2018.

レター

1. H. Takahira, R. Ishikawa, K. Kikuchi, T. Shinkawa, and M. Yamada, “Analysis of gaze movement while reading e-books,” IEICE Trans. Fundamentals, vol.E97-A, no.2, pp.530–533, Feb. 2014.
2. K. Kikuchi, H. Takahira, R. Ishikawa, E. Wakamatsu, T. Shinkawa, and M. Yamada, “Development of a device to measure movement of gaze and hand,” IEICE Trans. Fundamentals, vol.E97-A, no.2, pp.543–537, Feb. 2014.

国際会議

1. H. Takahira, R. Ishikawa, K. Kikuchi, T. Shinkawa, and M. Yamada, “Analysis of gaze movement while reading e-books,” Proc. 6th International Workshop on Image Media Quality and its Applications, pp.42–47, Sep. 2013.
2. H. Takahira, R. Ishikawa, K. Kikuchi, and M. Yamada, “Eye movement while reading e-books,” SID’s Digest of Technical Papers, vol.45, no.1, pp.1111–1114, Jun. 2014.
3. H. Takahira, S. Mochiduki, Y. Yokoyama, and M. Yamada, “Analysis of accommodation and convergence while viewing 4K images,” Proc. 21st International Display Workshops, pp.1041–1044, Dec. 2014.
4. H. Takahira, S. Mochiduki, and M. Yamada, “Development of an empathy

- measuring system while watching images,” Proc. 2015 International Conference on Computer Application Technologies, pp.50–53, Aug. 2015.
5. H. Takahira, S. Mochiduki, and M. Yamada, “Measurement of an empathy while watching images,” Proc. IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics, pp.453–457, Oct. 2015.
 6. H. Takahira, S. Mochiduki, and M. Yamada, “Development of two people’s gaze movement measuring system,” Proc. 8th International Workshop on Image Quality and its Applications, pp.82–86, Mar. 2016.
 7. K. Kikuchi, H. Takahira, R. Ishikawa, E. Wakamatsu, T. Shinkawa, and M. Yamada, “Development of a measuring device of movement of gaze and hand,” Proc. 6th International Workshop on Image Media Quality and its Applications, pp.103–107, Sep. 2013.
 8. K. Kikuchi, H. Takahira, R. Ishikawa, E. Wakamatsu, and M. Yamada, “Analysis of the fundamental characteristics of the movement of gaze and hand when e-book in the hand,” SID’s Digest of Technical Papers, vol.45, no.1, pp.1115–1118, Jun. 2014.
 9. Y. Yokoyama, K. Kikuchi, H. Takahira, and M. Yamada, “Analysis of change of accommodation and convergence dependence on the display methods when a target moves along the depth direction,” Proc. 7th International Workshop on Image Media Quality and its Applications, pp.38–43, Sep. 2014.
 10. K. Kikuchi, H. Takahira, R. Ishikawa, and M. Yamada, “Fundamental characteristics of movement of gaze and hand when indexing a target,” Proc. 7th International Workshop on Image Media Quality and its Applications, pp.48–51, Sep. 2014.
 11. G. Iizuka, Y. Nishimura, K. Suzuki, E. Wakamatsu, H. Takahira, and M. Yamada, “Analysis of head movement and eye movement while driving using bidirectional driving simulation system,” Proc. 7th International Workshop on Image Media Quality and its Applications, pp.72–75, Sep. 2014.
 12. S. Mochiduki, Y. Yokoyama, H. Takahira, and M. Yamada, “Changes in accommodation and convergence for a real target, a 2D display and a 3D display

-
- when the target moves in the depth direction,” Proc. 21st International Display Workshops, pp.1033–1036, Dec. 2014.
13. K. Kikuchi, H. Takahira, and M. Yamada, “Analysis of fundamental characteristics of eye and head movement when indexing a target with the finger,” Proc. 21st International Display Workshops, pp.1037–1040, Dec. 2014.
 14. Y. Shiratori, M. Kitade, H. Takahira, S. Mochiduki, Y. Yokoyama, and M. Yamada, “Analysis of convergence and accommodation while viewing 3D movies,” Proc. 21st International Display Workshops, pp.1045–1048, Dec. 2014.
 15. Y. Yokoyama, S. Mochiduki, H. Takahira, and M. Yamada, “Analysis of the dependence of accommodation and convergence on the display method when a target moves in the depth direction,” Proc. 21st International Display Workshops, pp.1049–1052, Dec. 2014.
 16. S. Mochiduki, H. Takahira, and M. Yamada, “Analysis of gazing points while viewing super-high-definition images at various viewing positions,” Proc. 2015 International Conference on Computer Application Technologies, pp.54–57, Aug. 2015.
 17. Y. Yokoyama, S. Mochiduki, H. Takahira, and M. Yamada, “Development of measurement system of changes in accommodation and convergence at the same time and measurement of its accuracy,” Proc. 2015 International Conference on Computer Application Technologies, pp.58–61, Aug. 2015.
 18. Y. Yokoyama, S. Mochiduki, H. Takahira, and M. Yamada, “Measurement system of accommodation and convergence at the same time,” Proc. IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics, pp.217–220, Oct. 2015.
 19. S. Mochiduki, H. Takahira, and M. Yamada, “Analysis of head movement when viewing a wide-viewing-angle display,” Proc. IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics, pp.418–422, Oct. 2015.
 20. S. Mochiduki, R. Watanabe, H. Takahira, and M. Yamada, “Analysis of gazing point from different viewing distances and positions,” Proc. 8th International Workshop on Image Media Quality and its Applications, pp.44–51, Mar. 2016.

21. Y. Yokoyama, K. Sukegawa, S. Mochiduki, H. Takahira, and M. Yamada, “Measurement of accommodation and convergence when a display and 3D movie were moved along the depth direction Simultaneously,” Proc. 8th International Workshop on Image Quality and its Applications, pp.82–86, Mar. 2016

研究会・シンポジウム

1. 高比良英朗, 石川諒一, 菊池慧, 新川達矢, 山田光穂, “電子書籍読書時の視線の動きの分析,” 信学技報, IMQ2013-3, May 2013.
2. 高比良英朗, 石川諒一, 平木龍司, 菊池慧, 山田光穂, “読書中の眼球運動研究と電子書籍への展開,” 信学技報, IMQ2013-8, Jul. 2013.
3. 高比良英朗, 石川諒一, 菊池慧, 山田光穂, “電子書籍と紙書籍の見開きページ読書時の眼球運動の比較,” 信学技報, IMQ2013-17, Dec. 2013.
4. 高比良英朗, 勢能弘規, 石川諒一, 菊池慧, 山田光穂, “複数の書体を同時に表示できる紙書籍・電子書籍を読書時の眼球運動解析,” 信学技報, IMQ2013-78, IE2013-187, MVE2013-116, Mar. 2014.
5. 高比良英朗, 横山優樹, 望月信哉, 山田光穂, “4K 画像注視時の輻輳眼球運動と調節の解析,” 信学技報, IMQ2014-10, Jul. 2014.
6. 高比良英朗, 石川諒一, 菊池慧, 山田光穂, “電子書籍読書時の眼球運動の特徴,” ヒューマンインタフェースシンポジウム 2014, 3331, Sep. 2014.
7. 高比良英朗, 菊池慧, 遠藤克, 伊城龍之介, 田中優衣, 山田光穂, “視標を指差し時の眼球運動と頭部運動の解析,” 信学技報, IMQ2014-13, Oct. 2014.
8. 高比良英朗, 望月信哉, 山崎夢子, 山田光穂, “複数の解像度・絞り値の画像注視時の眼球運動,” 信学技報, IMQ2014-56, IE2014-117, MVE2014-104, Feb. 2015.
9. 高比良英朗, 平山高嗣, 村瀬洋, 林英明, 小高秀文, “運転時の前方視認性向上のための局所調光ガラスを用いた防眩効果の検討,” 信学技報, MVE2019-22, Aug. 2019.
10. 高比良英朗, 平山高嗣, 村瀬洋, 下憲一郎, “運転支援のためのフロントガラス周辺からの情報提示方法,” ヒューマンインタフェースシンポジウム 2021, PB3-3, Sep. 2021.

11. 高比良英朗, 平山高嗣, 村瀬洋, 池田優介, “運転支援のためのフロントガラス周辺からの情報提示方法 ～情報提示位置およびシーンが与える影響の分析～,” ヒューマンインタフェースシンポジウム 2022, 1D-2, Sep. 2022.
12. 菊池慧, 横山優樹, 高比良英朗, 石川諒一, 山田光穂, “手の動きと頭部運動、眼球運動の協調運動の解析,” 信学技報, IMQ2013-18, Dec. 2013.
13. 横山優樹, 菊池慧, 高比良英朗, 山田光穂, “奥行き方向に移動する視対象に対する輻輳と調節変化の分析,” 信学技報, IMQ2013-79, IE2013-188, MVE2013-117, Feb. 2014.
14. 飯塚岳, 若松英輝, 高比良英朗, 山田光穂, “双方向運転シミュレーション装置を用いた運転時の頭部運動と眼球運動の解析,” ヒューマンインタフェースシンポジウム 2014, 1125, 2014.
15. 白鳥雄太, 北出桃子, 高比良英朗, 望月信哉, 横山優樹, 山田光穂, “3D 映画視聴時の輻輳眼球運動と目の焦点調節の解析,” ヒューマンインタフェースシンポジウム 2014, 3332, 2014.
16. 横山優樹, 望月信哉, 高比良英朗, 山田光穂, “奥行き方向に移動する視標に対する輻輳眼球運動と調節の解析,” ヒューマンインタフェースシンポジウム 2014, 3333, 2014.
17. 菊池慧, 高比良英朗, 山田光穂, “視線と手の協調運動の解析,” ヒューマンインタフェースシンポジウム 2014, 3334, 2014.
18. 白鳥雄太, 北出桃子, 高比良英朗, 望月信哉, 横山優樹, 山田光穂, “3D 映画視聴時の輻輳眼球運動と目の焦点調節の解析,” 信学技報, IMQ2014-12, Oct. 2014.
19. 望月信哉, 横山優樹, 高比良英朗, 山田光穂, “奥行き移動する実物体と 2D・3D 視標に対する輻輳と調節の追従特性の比較,” 信学技報, IMQ2014-25, Dec. 2014.
20. 工藤博章, 中本隆秀, 菊池慧, 高比良英朗, 山田光穂, 大西昇, “高精細映像でのオクルージョン領域の注視時の眼球運動に関する分析,” 信学技報, IMQ2014-54, IE2014-115, MVE2014-102, Feb. 2015.
21. 横山優樹, 高比良英朗, 望月信哉, 山田光穂, “奥行き移動する視標に対する輻輳と調節応答の解析,” 信学技報, IMQ2014-63, IE2014-124, MVE2014-111, Feb. 2015.
22. 望月信哉, 三浦彩音, 高比良英朗, 山田光穂, “4K 画像近距離視聴時の注視位置

- と頭部方向の分析,” 信学技報, IMQ2014-55, IE2014-116, MVE2014-103, Feb. 2015.
23. 望月信哉, 高比良英朗, 山田光穂, “広視野映像視聴時の視線に占める頭部の比率,” 信学技報, IMQ2015-10, Jul. 2015.
24. 望月信哉, 渡邊怜奈, 高比良英朗, 山田光穂, “観視距離と視聴位置による視線と頭部の分析,” 信学技報, IMQ2015-25, Nov. 2015.

全国大会・支部大会

1. 高比良英朗, 石川諒一, 菊池慧, 新川達矢, 山田光穂, “電子書籍、紙媒体の眼球運動と頭部運動のページめくり動作の比較,” 2013 信学総大, A-21-1, Mar. 2013.
2. 高比良英朗, 石川諒一, 菊池慧, 山田光穂, “電子書籍見開きページ表示読書時の眼球運動,” 2013 信学ソ大 (基礎・境界), A-21-1, Sep. 2013.
3. 高比良英朗, 望月信哉, 横山優樹, 山田光穂, “4K 画像観察時の輻輳眼球運動と調節変化の解析,” 2014 信学ソ大 (基礎・境界), A-21-4, Sep. 2014.
4. 高比良英朗, 伊城龍之介, 遠藤克, 菊池慧, 望月信哉, 山田光穂, “複数の視距離における視標指差し時の視線の動き,” 2015 信学総大, A-21-4, Mar. 2015.
5. 菊池慧, 高比良英朗, 石川諒一, 若松英輝, 新川達矢, 山田光穂, “視線と手の動きの測定装置の開発,” 2013 信学総大, A-21-3, Mar. 2013.
6. 菊池慧, 高比良英朗, 石川諒一, 山田光穂, “手の動きに対する眼球運動と頭部運動の測定,” 2013 信学ソ大 (基礎・境界), A-21-2, Sep. 2013.
7. 菊池慧, 横山優樹, 高比良英朗, 石川諒一, 山田光穂, “視標提示時の頭部運動、眼球運動、手の動きの協調運動解析,” 2014 信学総大, A-21-6, Mar. 2014.
8. 横山優樹, 菊池慧, 高比良英朗, 山田光穂, “奥行き方向に移動する視対象に対する調節変化の分析,” 2014 信学総大, A-21-7, Mar. 2014.
9. 望月信哉, 横山優樹, 高比良英朗, 山田光穂, “奥行き方向に移動する実物体と 3D・2D 映像に対する調節と輻輳変化の比較,” 2014 信学ソ大 (基礎・境界), A-21-1, Sep. 2014.
10. 横山優樹, 望月信哉, 高比良英朗, 山田光穂, “奥行き方向に移動する視対象に対する輻輳と調節変化の分析 (その 2),” 2014 信学ソ大 (基礎・境界), A-21-2, Sep.

- 2014.
11. 菊池慧, 高比良英朗, 山田光穂, “視標指差し時の眼球運動と頭部運動の解析,” 2014 信学ソ大 (基礎・境界), A-21-5, Sep. 2014.
 12. 石川諒一, 高比良英朗, 山田光穂, “電子書籍と紙書籍読書時の眼球運動の解析,” 2014 映情学冬季大, 11-8, Dec. 2014.
 13. 田中優衣, 菊池慧, 高比良英朗, 山田光穂, “電子書籍読書時の視線と手の運動解析,” 2014 映情学冬季大, 11-9, Dec. 2014.
 14. 遠藤克, 伊城龍之介, 菊池慧, 高比良英朗, 山田光穂, “広視野に提示した視標に対する頭部および眼球運動と手の動きの協調特性,” 2014 映情学冬季大, 11-10, Dec. 2014.
 15. 伊城龍之介, 遠藤克, 菊池慧, 高比良英朗, 山田光穂, “視距離を変化させて指さしさせた時の眼球運動と頭部運動の解析,” 2014 映情学冬季大, 11-11, Dec. 2014.
 16. 三浦彩音, 山崎夢子, 高比良英朗, 山田光穂, “4K 解像度映像視聴時の注視点分析の解析,” 2014 映情学冬季大, 11-12, Dec. 2014.
 17. 山崎夢子, 三浦彩音, 高比良英朗, 山田光穂, “解像度を変化させた画像を注視した際の輻輳眼球運動と調節変化の測定,” 2014 映情学冬季大, 11-13, Dec. 2014.
 18. 望月信哉, 横山優樹, 高比良英朗, 山田光穂, “奥行き移動する 2D/3D 映像視聴時の輻輳眼球運動と調節応答の解析,” 2014 映情学冬季大, 11-15, Dec. 2014.
 19. 北出桃子, 白鳥雄太, 高比良英朗, 山田光穂, “3D 映像観察時の輻輳眼球運動と調節応答の関係,” 2014 映情学冬季大, 11-17, Dec. 2014.
 20. 川上隼輝, 望月信哉, 高比良英朗, 山田光穂, “2 名の観察者の視線間距離の測定,” 2015 信学ソ大 (基礎・境界), A-21-5, Sep. 2015.
 21. 矢吹有梨佳, 飯塚岳, 望月信哉, 高比良英朗, 山田光穂, “脳波による映像視聴時の共感の測定,” 2015 信学ソ大 (基礎・境界), A-21-6, Sep. 2015.
 22. 助川慧吾, 望月信哉, 横山優樹, 高比良英朗, 山田光穂, “ディスプレイと 3D 映像を連動させて奥行き移動させた際の輻輳眼球運動と焦点調節の測定,” 2015 信学ソ大 (基礎・境界), A-21-7, Sep. 2015.
 23. 庄司凱登, 飯塚岳, 望月信哉, 高比良英朗, 山田光穂, “新たなスポーツ中の視線分析法の提案,” 2015 映情学冬季大, 22C-2, 2015.
 24. 加松瑞基, 飯塚岳, 望月信哉, 高比良英朗, 山田光穂, “顕著性を変化させたときの

指さしと視線誘導効果の測定,” 2015 映情学冬季大, 22C-3, 2015.

受賞

1. H. Takahira, S. Mochiduki, and M. Yamada, Competitive Paper Award, 2015 International Conference on Computer Application Technologies, Aug. 2015.