



VRゴーグル(FOVE) を用いた安価な Eye-Tracking System の作成

日置, 孝一

(Citation)

国民経済雑誌, 219(2):69-81

(Issue Date)

2019-02-10

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/E0041695>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/E0041695>



VR ゴーグル (FOVE) を用いた 安価な Eye-Tracking System の作成

日 置 孝 一

国民経済雑誌 第 219 巻 第 2 号 抜刷

2019 年 2 月

VR ゴーグル（FOVE）を用いた 安価な Eye-Tracking System の作成

日 置 孝 一^a

本研究では，VR ゴーグル FOVE を用いたアイトラッキングシステムの構築およびシステムの検証を行った。2つの検証実験の結果から，本研究で提案したアイトラッキングシステムを用いて，ランダムな位置への視線の移動を追認することが可能であること，一定時間内での連続した視線の推移が追認可能であることが確認された。また，キャリブレーション方法など，検証実験において示された複数の課題及び使用に関わる諸注意とその対応策について議論した。

キーワード アイトラッキング，VR ゴーグル，FOVE

1 VR ゴーグル FOVE とは

本研究では，VR ゴーグル FOVE を用いたアイトラッキングシステムの解説とそのデータ妥当性の検証を行う。FOVE とは2016年末に発売が開始された VR ゴーグルであり，2018年現在 \$599- で購入することが可能である（FOVE, 2018）。当該のサイトに記載されている仕様はディスプレイ WQHD OLED（2560 x 1440），フレームレート：70 fps，視野角：最大100度である。すなわち，仮想的に目の前に解像度 2560 x 1440 のモニタが置かれ，画像の書き換えが一秒に70回行われている状況といえる。さらに FOVE ではこの仮想のディスプレイに加えて視線追跡センサーが搭載されており，この仕様は赤外線アイトラッキングシステム x 2，トラッキング精度：＜1 度，フレームレート：120 fps となっている。すなわち精度一度以内で 1 秒に120回の計測を行うアイトラッキングカメラが両眼の計測を行っている。

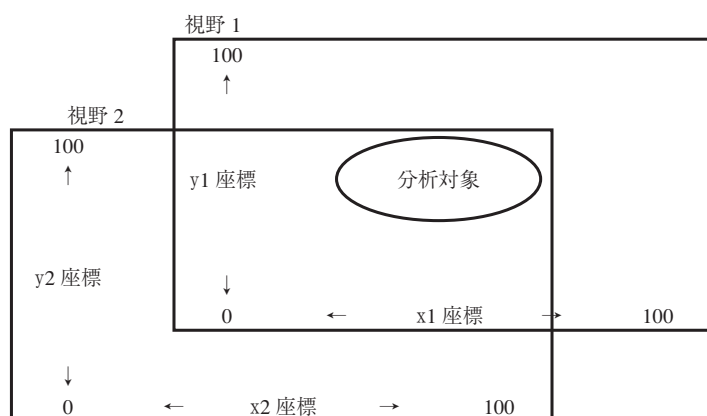
2 背 景

アイトラッキングとは，“いつ”・“何を” 見ているか，を計測することである。いつ・何を見ているかを知ることによって，人が何を見てから意思決定を行ったのか（Chen, Jermias, & Panggabean., 2015），何に注意を向けて判断を行ったのか（Masuda, Ellesworth, Mesquita,

a 神戸大学大学院経営学研究科, kohioki@b.kobe-u.ac.jp

Leu, Tanida, & Veerdonk., 2008, Study 2), などを知らることができる。こういった研究でよく使用される実験用器材として Tobii というアイトラッカーが有名である。また, その他多くのアイトラッカーおよび視線解析用プログラムが開発されており, 簡便に実験に利用することが可能である。しかし, これらのアイトラッカーには2つの問題が指摘される。第一に, コスト面の問題である。ウェブ上に公開されている情報で最も安価であると推定されるアイトラッカー Pupil (2018) の価格は1840ユーロ (アカデミック価格1250ユーロ) であり, 日本円に換算すると約239,200円 (アカデミック価格162,500円, 1 ユーロ130円換算) である。これは, アイトラッカー本体及びデータ解析用プログラムのセット価格であり, その他画像表示・計測記録用の PC の価格は含まれていない。そのため, 実験を行うためのコストとして, 上記の本体価格に加え画像表示用 PC, 計測記録用 PC の計2台分の価格を計上する必要がある。また第二に, アイトラッキングの仕組みそのものが, 顔の前に置かれたカメラを用いた眼球 (正確には瞳孔) の記録を行い, 瞳孔の移動角度を記録するという方法を採用していることにある。この方法では, 頭の向きによって瞳孔がカメラに記録できないという計測不能状態が発生する (Chen et. al., 2015, supplement data)。この問題は, ウェアラブルなアイトラッカーを使用することによって解決することが可能であるが, ウェアラブルな状態になることにより, 装着者がどこを向いているのかによって分析の対象とする座標の継時的な置き換えが必要となる。例えば, 図1に示すように, 視野1では座標 $x_1=50, y_1=50$ 付近に存在する分析対象が, 視野2では座標 $x_2=100, y_2=100$ 付近に存在することとなる。視線解析時には, 視野のどの場所に視線が向いていたか, という情報と, 視野内に存在していた“モノ”の情報とのマッチングが必要となるため, 視野が経時的に変化する場合にはそのマッチング処理が煩雑になる。

図1 経時的な座標の置き換え例



これに対して, FOVE ではアイカメラを画像表示装置の裏側に配置することにより眼球の

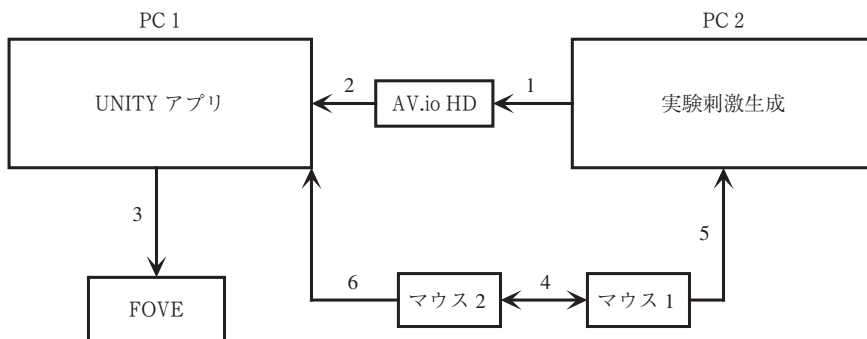
記録エラーを低減している。もちろん、VR ゴーグルを使用した場合にも、視野は頭の動きに対応して自由に書き換えられるが、本研究では、VR 空間内で装着者の眼前に仮想のスクリーンを固定し、頭が動いた場合であっても同じ位置にスクリーンが存在する画像表示を行うことにより、頭の動きによって視線計測ができなくなる問題と経時的な座標の置き換えの問題とを解消することとした。以下にそのシステムの構成を紹介する。

3 システムの構成

本研究で作成したアイトラッキングシステムの概要を図 2 に示す。PC 1 には Dell 社製 Alienware 13 R3 OS: Win 10 Home 64 bit ビデオメモリ: NVIDIA GeForce GTX 1060 6 GB GDDR5 を使用した。PC 2 には Panasonic 社製 Let's note CF-LX6 を使用した。ただし、PC 2 は実験用刺激が呈示可能でかつ DVI 出力の可能な機材であればそのスペックに制限はない。

刺激呈示および反応同期の方法 PC 2 の画面を DVI 形式で出力 (図 2, 矢印 1) し、PC 1 上の UNITY 5.6.1 (2018) アプリ内で USB カメラ信号 (矢印 2) として処理したうえで FOVE 上に呈示している (矢印 3)。参加者の反応は、マウス 1 に付属するボタンを押すことで記録される。マウス 1 に付属するボタンは、マウス 1 の右クリック、マウス 2 の右クリックを同時に生成させるよう、両マウスの右クリックボタンが直結されており、それぞれ PC 1 および 2 に同時にマウス信号が送信される (矢印 5 および 6, USB 接続)。

図 2 本研究で作成したアイトラッキングシステムの概要



FOVE は家庭用ゲーム向けに開発された機器であるため、画面への画像表示には表示用のアプリを経由する必要がある。本研究では比較的入手・操作の簡易な UNITY のゲームエンジンを採用し、表示用アプリを作成した。UNITY アプリ上に実験状況を呈示するためにはアプリ内に実験画面を再現するという方法をとらなければならない。しかし、UNITY は 3D ゲーム構築エンジンであり、UNITY 内での記述を用いて実験画面の再現を行うことは非常

に煩雑である。そこで、本研究で用いた表示用アプリでは、FOVE の VR 空間内の正面に仮想スクリーンを固定し、スクリーン上にビデオ画像として変換した外部 PC 画面を投影した。この投影には、AV.ioHD (2018) を用いた。AV.ioHD は、DVI 出力として得られる PC 画面情報を USB カメラの入力情報に変換するデバイスであり、UNITY アプリ内にカメラデバイスとして登録することで外部 PC の画面を取り込むことが可能となる。

4 システムの問題

上述の通り、視野内にスクリーンを固定することによって頭の動きによる視線計測エラーの低減を行い、かつ比較的低価格なアイトラッキングシステムが作成できた。しかし、当システムの妥当性という大きな未検証の問題が残る。当システムの問題は、FOVE の吐出するデータが VR 空間内の視線ベクトルデータであり、かつ、VR 空間内に仮想的に置いたスクリーン上に外部 PC 映像を投影するという方法を用いて刺激呈示をしている点にある。そのため、装着者が何を見ていたか、を正確に同定するためには、視線ベクトルデータの変換と仮想スクリーン上に投影された PC 映像の座標情報の取得が必要となる。しかし、FOVE のキャリブレーション・アルゴリズムが公開されていないことと、参加者の目の位置や装着によるずれなどを勘案すると、仮想スクリーン上の PC 画面座標は参加者ごとに異なる可能性が考えられる。そこで本研究では、実験刺激の呈示位置と視線データ情報から逆算的に PC 画面の座標を取得し、その座標を基に、各参加者の視線データを分析することとした。これは、アイトラッキングを実施する際、参加者にキャリブレーション用の刺激を見せることで参加者の視野座標を取得する方法と類似している。

5 妥当性の検証

5.1 検証実験 1

本検証実験では、FOVE を用いたアイトラッキング・データを取得し、その検証を行った。ただし、一般的な比較実験ではなく、参加者に呈示刺激を追視させ、そのデータと呈示刺激位置との一致度の検証を行うことで、参加者のアイトラッキング・データからの刺激呈示位置の再現度として検討を行った。

方法 アイトラッキング・データの検証のため、刺激の弁別課題を使用した。弁別課題は、10回の練習試行と110回の本試行から構成されていた。各試行は、黒色または青色の□の刺激が呈示された。青色の刺激（以下、ターゲット刺激）が呈示された場合にボタンを押して反応を行い、黒色の刺激（以下、ノイズ刺激）が呈示された場合には何もしない、という課題であり、ターゲット刺激の出現率は50%とした。各試行の時間は 2500 ms（2.5秒）であり。注視点（+）を 450 ms 呈示後、刺激間隔を 50 ms とった後、実験刺激を 2000 ms 呈示し

た。このとき、参加者の反応が行われた時点で当該の試行を終了した。また inter trial interval は 500 ms であった。刺激は仮想スクリーン上の x 軸方向に20%から80%の範囲、同様に y 軸方向に20%から80%の範囲内に表示した。具体的には、仮想スクリーン上で縦10%、横10%の大きさの□を $x=25\%, 50\%, 75\%$, $y=25\%, 50\%, 75\%$ の計 9 点上にランダムに呈示した。なお、刺激の呈示には Inquisit 4 (2016) を使用した。

実験参加者 実験参加者は 9 名であった (女性 7 名, 男性 2 名 平均年齢 24.78 才 $SD=7.50$)。なお、実験参加の謝礼として 500 円のアマゾンギフトカードを進呈した。

手続き 実験は個別に実施した。参加者に同意書記載の危険性の理解と対応、および実験の概要について説明を行い、確認した上で、同意を得られた場合に実験を開始した。まず、参加者に FOVE を装着させ、キャリブレーションを行った。キャリブレーションは FOVE 社の提供する自動キャリブレーションアプリケーションを用いて実施した。キャリブレーション後、実験プログラムを表示した PC2 の画面を FOVE 上に表示し、実験を実施した。課題終了後、利き目の測定を行った。利き目は参加者から 3 メートルほど離れた位置にある刺激を両目で見たまま指さしをし、その状態のまま左右の目を順につぶらせ、つぶった時に指の位置がずれる目とした。両目で同程度ずれるという報告を行った場合は、利き手と同じ側の目を利き目とした。最後に、実験に関する簡単な説明を口頭で行い、実験終了とした。実験に要した時間は装着およびキャリブレーション 10 分、実験 5 分の計約 15 分であった。実験は神戸大学経営学研究科 実験・調査に関する倫理委員会の審査を経て実施した。

結果

行動データ ターゲット刺激を正しく同定できていたかの確認のため、参加者ごとにターゲット刺激に対するボタン押し反応の割合 (hit 率) およびノイズ刺激に対するボタン押し反応の割合 (false alarm 率) を算出した。全参加者の hit 率は平均 100% ($SD=0.00$) であった。また、false alarm 率は平均 0.30 ($SD=0.64$) であった。すなわち、高い精度でターゲット刺激とノイズ刺激の弁別が出来ていた。また、参加者の平均反応時間は 771.33 ms ($SD=216.66$) であった。

視線データ 視線データの検証のため、ターゲット刺激に対するボタン押し反応を基準として、吉高・西田・平嶋 (2009) を参考に、反応前¹⁾21データ (反応前約 420 ms~反応が行われるまで) を分析の対象とした。まず、仮想スクリーン上に現れる参加者の視線範囲を決定するため、各刺激の呈示位置と視線データのマッチングを行った。この時、マッチングの基準は、PC1 に送信されたマウス右クリック信号と、PC2 の Inquisit データ上に記録されたマウス右クリック信号との同定を用いた。また、false alarm 時に記録される信号情報およびマウス信号の誤送信 (短時間内での複数回クリック) によるデータエラーが確認されたため、時間情報および視線データ、刺激呈示位置の 3 種の情報からデータエラー対象となる時

図 3-1 参加者 A の利き目視線データ (補正前)

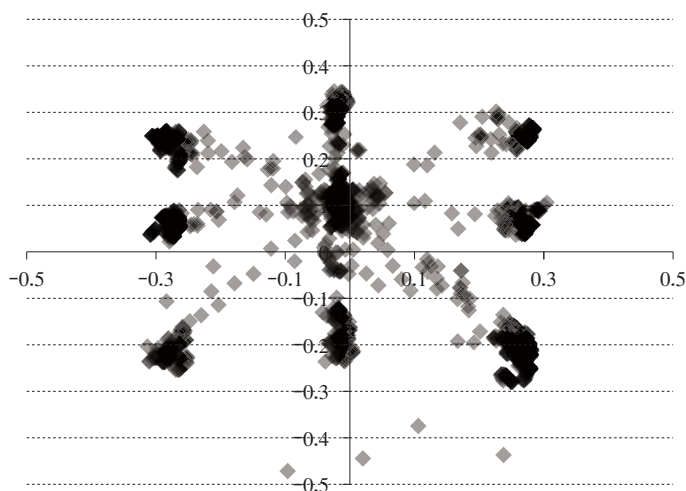
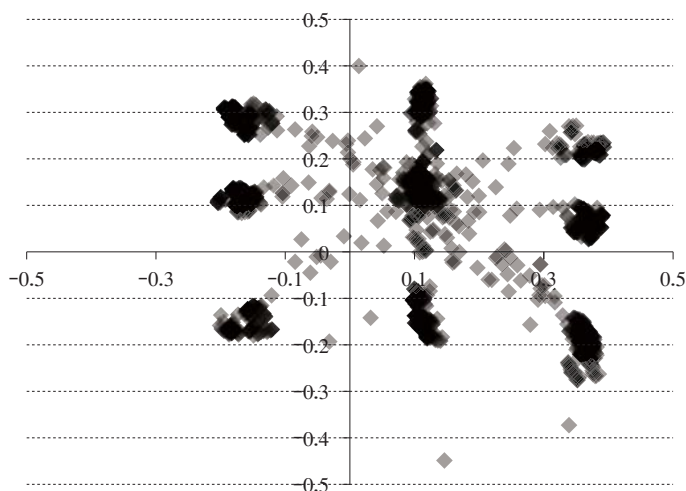


図 3-2 参加者 A の非利き目視線データ (補正前)



間を特定した。マウス信号の誤送信に関しては短時間 (500 ms) 内に複数回のマウス信号が確認された場合には、後続のマウス信号を削除した。また false alarm に関しては分析から排除した。マッチング後、各参加者の利き目のデータを用いて視野情報の確定を行った。図 3-1 および 3-2 に示すように、利き目・非利き目間での視線データパターンに大きな違いは示されなかったが、座標データを参照したところ、利き目視線データの方が非利き目視線データに比べて比較的 0 位置に近い値となっていたため、今回の分析には利き目視線データを用いた。また、この際各試行に伴う 21 データごとに平均から ± 3 標準偏差 (以下 SD) 以上離れたデータ (全参加者平均 12.56 データ, $SD=3.83$) および測定不能データ (全参加者平均

図 4-1 参加者 A の視線 x 座標データヒストグラム

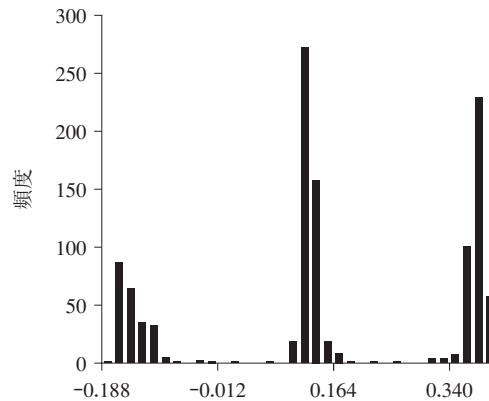
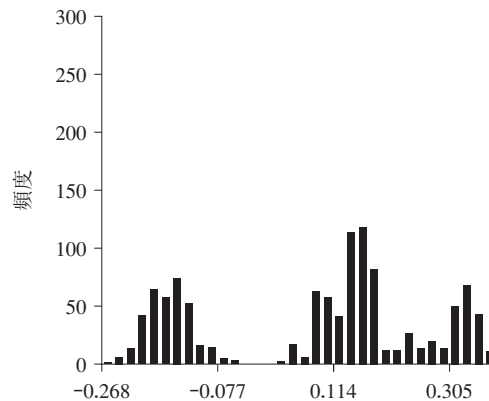


図 4-2 参加者 A の視線 y 座標データヒストグラム



12.66データ, SD=34.49) を分析から排除した。

視野情報の確定は, 各参加者の視線データのヒストグラム (図 4-1, 2) を参照し, 各 x, y 座標の15, 50, 85パーセンタイル値を抽出, それぞれ座標最小値, 原点, 最大値とした。これらの値を基に, 参加者ごとに視線データの補正を行った (図 5-1, 2)。

続いて, 補正した視線データを刺激呈示位置ごとに分類し, 平均値, SD, およびデータ数を求めた (表 1, 2)。表 1 に示すように, x 座標では25%点と50%点の間隔, 50%点と75%点の間隔が近い値を示すこと ($x(25\%) - x(50\%)$ 間の値が0.87, $x(50\%) - x(75\%)$ 間の値が0.83.), y 座標は原点の上下, すなわち視野の上下で距離のずれが生じていることがうかがえる ($y(25\%) - y(50\%)$ 間の値が0.80, $y(50\%) - y(75\%)$ 間の値が0.80)。上下視野の差異に関しては和田・西條・加藤 (1999), Previc (1990) などに指摘されているが, 本研究の主たる目的ではないため, 議論の対象としない。本稿では FOVE の吐出するデータの精度と

図 5-1 参加者 A の利き目視線データ (補正後)

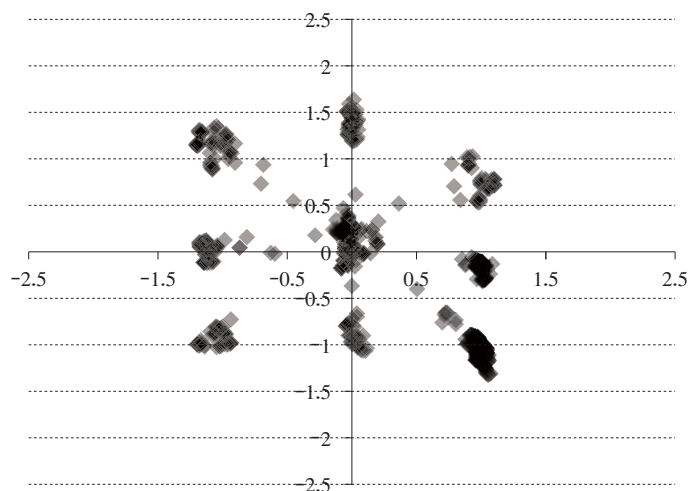
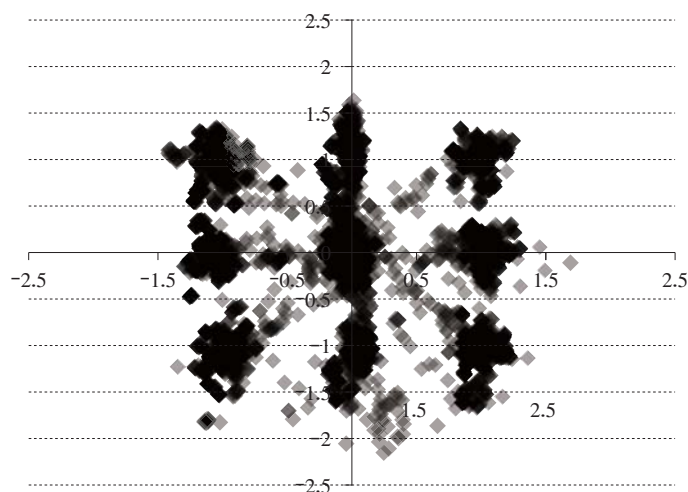


図 5-2 全参加者の利き目視線データ (補正後)



して、標準誤差 (SE) に焦点を当てる。いうまでもなく SE の大きさは対象となるデータ数と SD に依存する。仮にデータの95%信頼区間を本研究データの平均値 $\pm 10\%$ とおくと、データの平均値が約 -1 から 1 の間を推移しているため、要求される誤差の幅は約 0.1 以下と想定できる。このことから、信頼区間 $95\% = \text{平均値} \pm 1.96 \times \text{SE}$ として、要求される $\text{SE} = 0.05$ 以下と算出できる。本研究データの SD が 0.51 から 0.06 となっていたことから、最も大きな SD を対象としても、当該の範囲に対して 100 個ほどのデータを収集することによって、十分にその範囲を見ていたという証拠を示すことが可能である。

表 1 各刺激位置に対する平均視線データ

刺激 y 座標	刺激 x 座標							
	25%		50%		75%		平均	
	x	y	x	y	x	y	x	y
75%	-0.86 (0.44)	0.76 (0.42)	-0.05 (0.15)	0.90 (0.39)	0.72 (0.43)	0.72 (0.45)	-0.12 (0.74)	0.80 (0.43)
50%	-0.89 (0.39)	-0.03 (0.25)	0.00 (0.19)	-0.02 (0.35)	0.84 (0.38)	0.04 (0.31)	0.03 (0.78)	0.00 (0.31)
25%	-0.89 (0.28)	-0.84 (0.49)	0.01 (0.11)	-0.74 (0.56)	0.89 (0.31)	-0.79 (0.50)	0.00 (0.77)	-0.79 (0.52)
平均	-0.88 (0.37)	-0.06 (0.81)	-0.01 (0.15)	0.00 (0.84)	0.82 (0.38)	-0.08 (0.77)	-0.03 (0.760)	-0.04 (0.81)

注) ()内は SD を示す。

表 2 各刺激位置に対する視線データ数

刺激 y 座標	刺激 x 座標							
	25%		50%		75%		計	
	x	y	x	y	x	y	x	y
75%	1273	1273	1162	1162	1043	1043	3478	3478
50%	894	894	935	935	1041	1041	2870	2870
25%	1348	1348	1391	1391	1345	1345	4084	4084
計	3515	3515	3488	3488	3429	3429	10432	10432

検証実験 1 の結果から、当システムを用いて短時間にランダムな位置に出現する刺激に対する視線の追認が可能であると結論できる。ただし、連続して表示される刺激に対する視線や、一定時間の視線の推移を追認することは可能であろうか。この点について検証実験 2 として検証した。

5.2 検証実験 2

本実験では、参加者に一定時間刺激を注視させた際の視線データと刺激情報との一致が可能か否かを確認するため、参加者 1 名（実験者）を対象とした検証実験を行った。

方法 実験に用いた課題は、30秒間画面中央に呈示された 3 行の文章を黙読する、というものであった。課題は 1 回のみ実施された。また、視線データと刺激呈示タイミングとの一致を計る為、刺激呈示直前および 3 行の文章を読み終わるたびにマウスボタンをクリックするように参加者に指示した。刺激の呈示には Inquisit 4 (2016) を使用した。

結果 参加者は30秒間の内、約 4 回文章を読んでいった。このうち、初頭の 3 回分の視線データを分析の対象とした。分析の対象となった時間は20.50秒であった。検証実験 1 と同様に、参加者の視線データから各 x, y 座標の 15, 50, 85パーセンタイル値を基として参加者の利き目視線データの補正を行った。補正後、視線データの原点を呈示刺激の原点に重ね、視線データの x 最小値と刺激文頭とを合致させた（図 6-1）。また、視線データの順序情報を線として図 6-2 に図示した。

図 6-1 には、刺激の上に視線データが集中することが示されている。また、図 6-2 には文

図 6-1 参加者一名の視線データ (補正後)

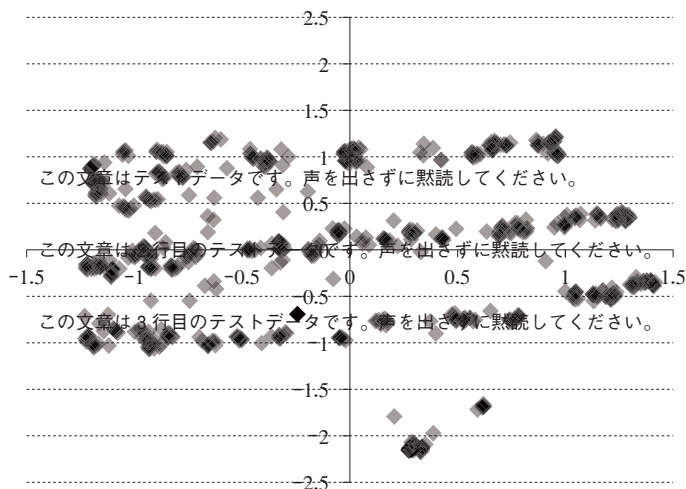
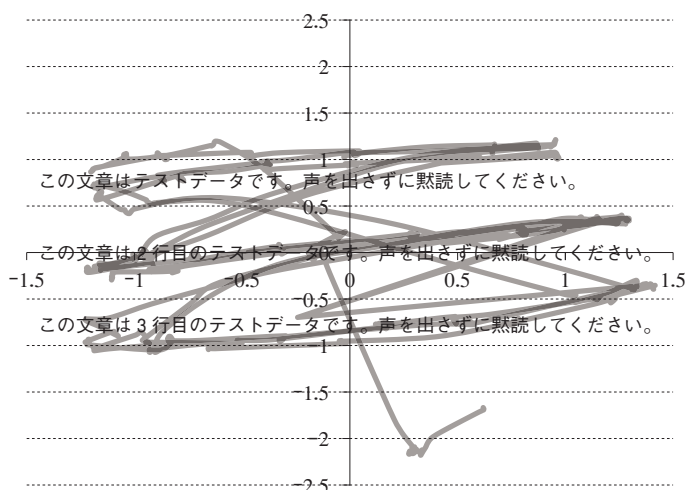


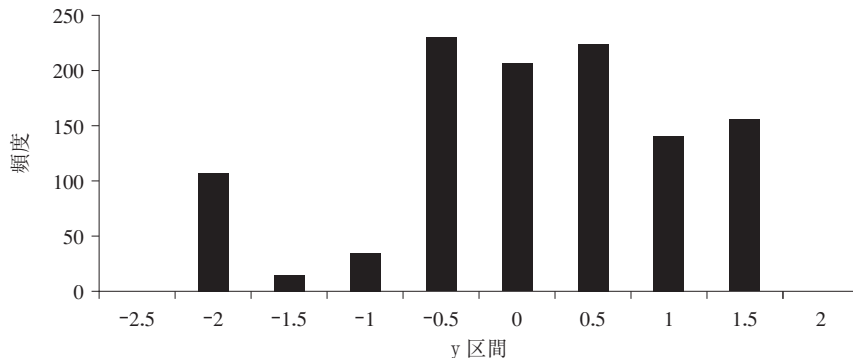
図 6-2 参加者一名の視線トレース (補正後)



頭から文末に向かって視線が移動していること、さらに文末に至った視線が後続の行の文頭へと移行する動きが示されている。これらのデータから、参加者の視線データが呈示刺激の直上に存在し、かつ読みの行動を追認できていることが確認された。

また、図 7 に示す通り、文章の呈示されている y 座標範囲 (0.5~1.0, 0.25~-0.25, -0.5~-1) にそれぞれ100以上のデータが収集されており、上下0.1の範囲で当該の刺激を見ていたといえる。すなわち、当システムにおいて一定時間内での自由な読み行動の追認も十分に可能であると結論付けられる。

図7 y 座標データヒストグラム



6 考 察

本研究では、VR ゴーグル FOVE を用いたアイトラッキングシステムの構築およびシステムの妥当性の検証を行った。短時間に刺激をランダムな位置に呈示し、その刺激を弁別させる課題を行った検証実験1の結果から、本研究で提案したアイトラッキングシステムによって、ランダムな位置への視線の移動を追認することが可能であることが示された。また、文章の読み行動を行わせた検証実験2の結果から、一定時間内での連続した視線の推移が追認可能であることが確認された。ただし、当該のアイトラッキングシステムにはいくつかの課題が残されている。以下にその課題と解決案を述べる。

6.1 課題

本システムの課題は3つ存在する。第一に、座標取得の問題が挙げられる。本研究の検証では、検証実験1・2ともに、参加者の全視野データから得られる原点・最小値・最大値の値を用いた補正によって、刺激位置を反映した視線データが得られていることが示された。ただし、FOVE によるキャリブレーションと、FOVE を通じて呈示される PC2 上の画像情報との絶対的な対照が出来ていないことは無視できない。言い換えると、FOVE より得られる視線ベクトルデータが真に刺激位置を反映していたか、という検証ができていない。この点に関しては、2つの解決案が提案できる。一つには、FOVE 本体のキャリブレーションに加え、仮想スクリーン上に PC 画像を呈示した後に、基準点となる刺激を注視させる形でのキャリブレーションを実施することである。ここで提案するキャリブレーションは、実験刺激を呈示する PC 画面四隅と画面中央の最少でも5点の基準点を設け、それらの基準点上に置いた刺激を2秒程度注視させることで、各基準点データを100個程度取得することである。もう一つには、明確なキャリブレーションではなく、実験の説明文として画面全体にわたる

文章を音読させる，という案である。これは，検証実験2に示されたように，移動視点に関しても十分に追認可能であるため，基準点ではなく，基準視野範囲を記録するという案である。よりよい方法としては，基準点の記録，基準視野の記録双方を行うことが提案される。

もう1点の課題は，PC画像をusbカメラ画像に変換して取り込むことによる画質の低下である。加えてVRゴーグルの性質上，左右の目に同じ画像が独立して呈示されるため。ゴーグルを正しく装着していない場合に画像が二重表示されているように見える，ぼやけて見える，などの現象が起こる。画質の低下については，実験刺激のサイズについて実験構築時に十分に検討を行い，なるべく大きく表示できるよう検討する必要がある。また，ゴーグルの装着に関しても，実験刺激呈示前にゴーグルを装着した上体で文章を読ませるなど，見えの状態に注意する必要がある。

さらには，ゴーグルの仕様上の課題として，メガネを用いた視力の矯正が不可能であるという点が指摘される。この点については矯正用レンズをゴーグル内に布置することによる解決を試みたが，眼球測定用LEDを阻害してしまうため，解決案を得られていない。なお，コンタクトレンズを装着した状態であれば眼球の追尾が可能であり，参加者の内省によると，矯正視力0.4程度であれば刺激の弁別および視線の追認が可能であった。加えて仕様上の問題として，ゴーグル装着時には手元を確認できないため，自由記述等，キーボードを用いた文字の入力反応はほぼ取得できない。この点については，マウスを用いた代替の入力方法か，口頭での回答を求める案が考えられる。

最後に，VRゴーグルを用いた実験における一般的注意点として，VR酔い，子供を対象とした斜視のリスクを考慮する必要がある。これらはVRゴーグル使用上の注意として知られているが，実験によっては固定した呈示刺激を注視し続けることを求めるような設定も想定される。酔いを起こしやすくなるような実験設定，長時間の使用による目に対する負荷については十分な検討を行った上で実施されたい。

6.2 結語

本研究では比較的安価に作成可能なアイトラッキングシステムの提案およびその妥当性の検証を行い，当システムを用いることによって視線の推移を追認可能であることを示した。先に述べたとおり，いくつかの課題は残るが，その解決案を適用することによって学術的研究での使用に十分耐えうるものと考えられる。また，FOVEは家庭用に開発された機材であるため，他の実験機材と比較すると装置の移動を簡便に行うことが出来る。これは，実験実施場所を確保するに当たって非常に効率がよく，例えば，提案したシステム内の2台のPCをノート型にすることで，空き教室，レンタルスペースなどでの実験を比較的容易に行うことが可能になる。当システムは，実験機材の設置スペースの制約や参加者確保の難しい社会

人を対象とした実験に適したシステムであると考えられる。さらには、仮想空間内での視点が記録できるという点から、例えば裁判や取調べなどの 3D ビデオ映像を用いた状況の擬似体験、さらには極限状態下や完全な仮想空間内での視点の記録など、幅広い使用可能性が提案できる。

注

本論文は、科学研究費補助金（基盤研究（c）：課題番号 17K04039）による研究成果の一部である。

- 1) 公式スペックは 120 Hz（応答速度 8.33 ms）、公式サイトでは応答速度 12 ms とされている。ただし、独自に時間情報を記録し計測を行ったところ平均応答速度 19.44 ms（SD=4.66）であった。このことから、本研究では 1 データ当たり 20 ms の応答速度と解釈する。
- 2) 参加者 1 名のみ、視線データ y 座標に連続した小さな値が存在したため（全データ中の 5.2%）、ヒストグラムを基に、y 座標の最小値・原点・最大値の値を 20, 55, 90 パーセンタイル値とした。さらに、参加者 1 名のデータが平均値付近に集まる傾向が見られたため、ヒストグラムを基に、x および y 座標の最小値・原点・最大値の値を 10, 50, 90 パーセンタイル値とした。

引用文献

- Chen, Y., Jermias, J., & Panggabean, T., 2015, “The Role of Visual Attention in the Managerial Judgment of Balanced - Scorecard Performance Evaluation: Insights from Using an Eye - Tracking Device,” *Journal of Accounting Research*, 54, 113-146
- Masuda, T., Ellsworth, P. C., Mesquita, B., Leu, J., Tanida, S., & van de Veerdonk, E. (2008). “Placing the face in context: Cultural differences in the perception of facial emotion,” *Journal of Personality and Social Psychology*, 94, 365-381.
- Previc, F. H., 1990, “Functional specialization in the lower and upper visual fields in humans: Its ecological origins and neurophysiological implications,” *Behavioral and Brain Sciences*, 13, 519-575.
- 吉高・西田・平嶋, 2009, 「絵画鑑賞時の眼球停留の時間的な発生頻度に着目した注目状態の検出」, 『情報処理学会論文誌』, 50, 1467-1476
- 和田・西條・加藤, 1999, 「選択的注意課題における視野の非対称特性」, 『人間工学』, 35, 271-276
- AV.io HD（最終閲覧日 2018年9月）<https://www.epiphan.com/products/avio-hd/>, 国内代理店 URL: <https://www.argocorp.com/grabber/eizou/Epiphan/AVioHD.html>
- FOVE（最終閲覧日 2018年9月）<https://www.getfove.com/>
- Inquisit 4 [Computer software]. (2016). Retrieved from <https://www.millisecond.com>.
- Pupil（最終閲覧日 2018年9月）<https://pupil-labs.com/>
- UNITY（最終閲覧日 2018年9月）<https://store.unity.com/>