

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：27101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K18093

研究課題名（和文）スマートフォン依存が人間の立体視力におよぼす影響

研究課題名（英文）Effects of Smartphone Dependence on Human Stereo Acuity

研究代表者

玉田 靖明（Tamada, Yasuaki）

北九州市立大学・国際環境工学部・准教授

研究者番号：90803875

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：立体視力は、左右眼の網膜像のずれから微細な奥行きの違いを検出あるいは弁別する能力である。現在、立体視力を詳細に想定できるのは一部の研究機関に限られる。どこでも、だれでも、精度良く立体視力が測定できるシステムの構築を目指した。まず、既存の立体視力測定システムについて検証した。次に、タブレット端末やヘッドマウントディスプレイでの立体視力測定システムを試作し、その性能を評価した。ヘッドマウントディスプレイを用いることで、VR空間内であってもかなり細かい両眼網膜像差を呈示できる可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、VRのヘッドマウントディスプレイの有用性を示したが、最近のスマートフォンは高性能なのでちょっとしたアタッチメントを取りければ、どこでも誰でも簡単に立体視力を測ることができるようになる。そうなれば、多くの人が3DやVRの映像を最大限に楽しむことができるようになる。また、立体視力は、健康上良くない生活習慣が身についていないかを示すバイオメーターにもなりうる。人間の視機能が生活様式の変化に対してどのように適応してきたか、さらには、今後どのように適応していくかを知る手がかりとなるかもしれない。

研究成果の概要（英文）：Stereoacuity is the ability to detect or discriminate small differences in depth from the disparity between the retinal images of the left and right eye. At present, stereoacuity can be measured in detail only a few places (e.g., Laboratory). In this study, we aimed to construct a system that can measure stereoacuity accurately, anywhere, and by anyone. First, we examined existing stereoacuity measurement system. Second, a prototype stereo acuity measurement system working on a tablet device or a head-mounted display was constructed and its performance was evaluated. The results showed the possibility of presenting very small binocular disparity even in a VR space using a head-mounted display.

研究分野：視覚情報処理

キーワード：立体視力 VR ヘッドマウントディスプレイ タブレット端末 スマートフォン

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

学校保健統計調査によれば、中学と高校年代の裸眼視力 1.0 未満の割合は平成 22 年度前後を境に再び増加傾向に転じている。それはスマートフォンが普及し始めた時期である。近見作業時間の増加、正立以外の不安定な姿勢での動画像の視聴など、スマートフォン利用がもたらした生活様式の変化が近視化にもいくらか寄与していると考えられる。

人間が物を見るための能力は、小さな文字を見分けるための視力に限らない。左右の網膜像のずれ(両眼網膜像差)から物体間の微細な奥行きを検出または弁別する能力は立体視力と呼ばれる。立体視力は、ピントを合わせるための調節、視線を合わせるための輻輳眼球運動など、両眼の協調動作によって成立している。立体視力の測定は、眼科ではスクリーニングのための簡易的な検査としてのみ行われることが多く、精密な測定は視覚研究を行う一部の研究機関などに限られる。

昔の子供たちは、手に届く範囲にあるものと遠くの野山を交互に見比べる際に視線を前後に動かし、スムーズな両眼性の輻輳眼球運動を体得しその能力を維持していたのかもしれない。一方で現代の子供たちは、テレビや PC の画面よりもさらに近い位置にあるスマートフォンを長時間見続けるという状況にある。これによって、両眼性の輻輳眼球運動を行う能力が低下し、立体視力が低下している可能性がある。また、スマートフォンの小さな画面の中に表示される動画像コンテンツには、さまざまな絵画的な奥行きが含まれており、両眼網膜像差を用いなくても 3 次元構造を把握できる。これを見続けることによって、絵画的な奥行きの情報に比べて両眼網膜像差への依存度が低下し、両眼網膜像差を使わなくなったことで立体視力が低下している可能性もある。

このように、立体視力は、視力以上に、スマートフォン利用と関連している可能性がある。もしも、両眼立体視力とスマートフォン利用状況を大規模に定点観測することができれば、これまでの生活様式の変化が人間の視機能に何をもたらしたか、さらには、今後の生活様式の変化に対して人間の視機能がどのように適応していくかを推定するための手がかりとなりうる。

2. 研究の目的

人間の立体視力を精密かつ大規模に測定する方法を構築し、スマートフォン利用との相関を明らかにすることを目指した。

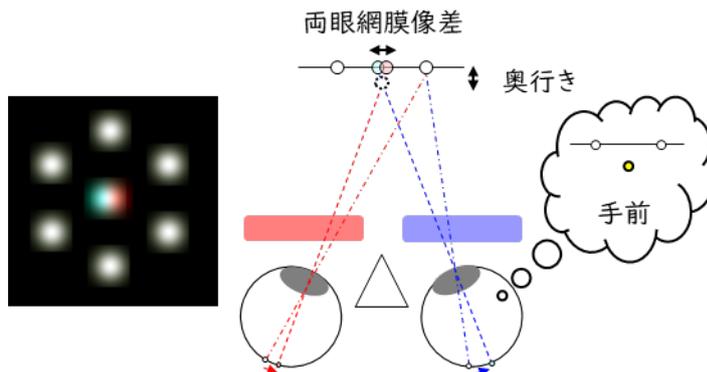
3. 研究の方法

スマートフォンの利用状況を表す指標は、アプリケーション(例えば、iOS であれば「スクリーンタイム(図 1)」など)から比較的容易に取り出せると判断した。このため、どのようにすれば正確かつ大規模に立体視力を測定できるようになるかということに専心した。特に、新型コロナウイルスの流行という予期せぬ出来事を経験したことで、実験室に来なくても立体視力測定を行えるようにすることの重要性を認識した。そこで、通常のディスプレイ(従来法)、タブレット端末、ヘッドマウントディスプレイの各環境についてそれぞれ立体視力を測定するための実験プログラムを開発し、データを収集・解析し、考察した。

ヘッドマウントディスプレイでの立体視力測定システムを構築するために、ゲームエンジン Unity を使ったプログラム開発、および、そのノウハウの蓄積に取り組んだ。具体的には、バーチャル空間にさまざまな 3 次元物体を配置しカメラを動かすことで、自己身体が移動している状況をシミュレートし、自己運動感覚の有無や強度を測定する実験プログラムを作成した。



図 1 スクリーンタイム



4 視覚的暗示

図 2 ヘキサゴンドット(左)と幾何学的な予測(右)

(1) ディスプレイを用いた立体視力測定

目的: 従来の立体視力システムの問題点を浮き彫りにすることであった。

方法: 図3に示すように、1辺を共有する2つのヘキサゴンドット（ダブルヘキサゴンドット）からなる刺激を用いた。正答が続いたら両眼網膜像差量を減らし難易度を上げ、誤答があったら両眼網膜像差量を増やし難易度を上げるという操作を繰り返し、立体視閾と閾値決定までの試行回数を測定した。実験後に、被験者にヒアリングを行った。

結果: 結果の例を示す。Sub.1では、両眼網膜像差のレベルが閾値付近で増減をしており、比較的高い精度で閾値が推定できていると考えられる。一方、Sub.2ではいったんは正答が続き両眼網膜像差が減少したものの、測定後半に誤答が続き両眼網膜像差が増加した。ほかには、測定初期段階で誤答が続き、両眼網膜像差の上昇が続くケースがあった。視力測定では難易度を下げていけば必ず正答できるようになるが、立体視力測定では両眼網膜像差量を増やしていくと複視が生じ奥行き判断がむしろ難しくなるという事態が生じる。このため、階段法を用いて立体視閾を測定する際には、安定してデータが取れるようになるまでは被験者を測定者の監視下に置いておく必要があることを確認した。被験者のヒアリングでは、「赤青メガネを装着して行う測定には疲労感が大きい」などの内観報告が多数あった。さらに、両眼分離のために用いる赤青メガネが破損し、交換が必要になることがあった。異なるメーカーの赤青メガネを用いるときに、フィルター濃度の違いにより両眼でクロストークを生じることがあり、ディスプレイだけでなく、赤青メガネにも合わせて視覚刺激を調整する必要があることを確認した。

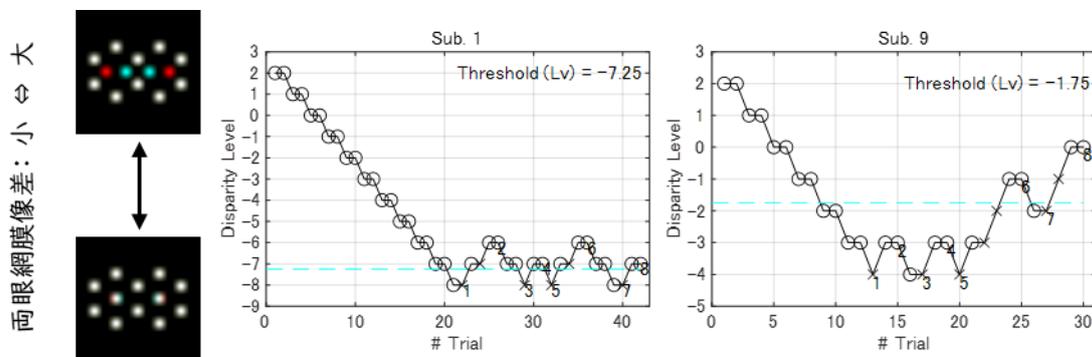


図3 ディスプレイを用いた立体視力の測定例

(2) タブレット端末を用いた立体視力測定

目的: PC とディスプレイの組み合わせで立体視力測定を行う場合、ディスプレイの描画特性に留意する必要がある。一方、タブレット端末であれば、同じメーカーで同じ型であればそれほど大きな個体差はないと仮定することができる。主要な端末の描画特性を押さえておけば、どこでも同じように測定を行えると考えられる。また、タブレット端末の特性を生かし、キー押しではなく、タッチによってより直感的な操作を導入できるというメリットもある。ここでは、タブレット端末を利用して、より簡易的に短い試行回数で閾値を求める方法について検討した。

方法: 1辺 15° の正方形の領域を 3×3 マスに区切り、各マス内にランダムドットを配置した。ランダムドットには、2次元ガウス関数状の両眼網膜像差変調を与えた。8マスには非交差性の網膜像差変調を、1マスには交差性の網膜像差変調を与えた。いふなれば、たこ焼き焼き器を上から見て9つあるくぼみの中にたこ焼きが1つだけ入っているような状態がシミュレートされた。被験者は、どのマスが飛び出して見えるかを画面タッチにより応答した。

結果: 9者択一にしたことで、まぐれ当たりが少なくなり、過剰に小さな網膜像差まで測定することが少なくなることを確認した。タッチ操作については、キー押しよりも押し間違いが少なくなるという点で優れていることを確認した。刺激を点ではなく、面にすることで、より奥行きが知覚されやすくなることを想定した。しかし、ランダムドットで凹凸面を表現するためにドットの数を増やす必要があり、そのため各ドットのサイズを小さくせざるを得なかった。これにより、かえって見づらくなったという声があった。タブレット端末を用いるときの最大の懸念は、観察距離である。観察距離が変われば、立体視力が数段階変化することになる。頭部を固定するための顎台を各所に用意すればよいのだが、頭部を固定しながらタブレット端末の操作を行うのは窮屈であり、せっかくの軽快な操作感が損なわれてしまうことを確認した。

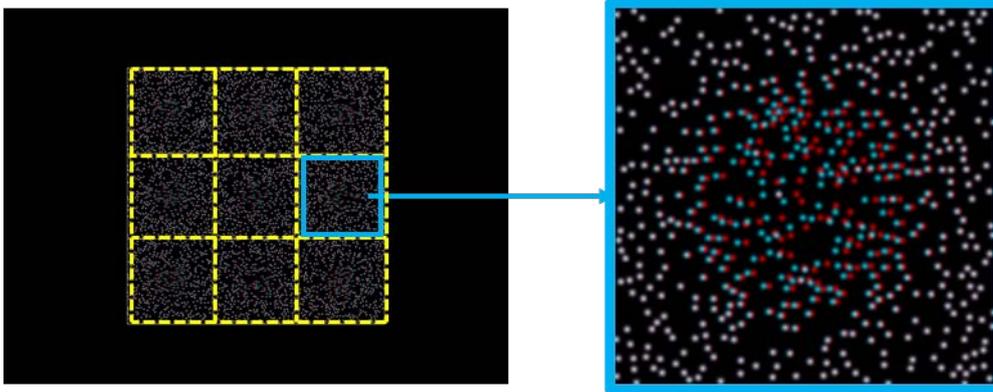


図 4 タブレット端末での立体視力測定に用いた刺激

(3) ヘッドマウントディスプレイを用いた自己運動感覚の測定

目的: ヘッドマウントディスプレイを用いれば、観察距離の問題が解消されると考えた。ヘッドマウントディスプレイに視覚刺激を呈示するためには、これまでのプログラミングとは異なる環境を用いる必要があった。そのため、ゲームエンジン Unity の開発環境に慣れ、立体視力測定のためのノウハウを獲得することを目的とした。

方法: バーチャル空間に物体を配置し、カメラを動かすという簡単なプログラム作成から始めた。物体ごとにスクリプトをアタッチする、物体間で相互に参照できるようにするなど、Unity 独特の設定方法を習得した。立体視力測定という本筋からは少しそれるが、視覚刺激を呈示して、それに対する応答を記録するという一連の流れをプログラミングした。

結果: 広い視野に呈示される様な運動パターンを観察していると、実際には自己の身体は静止しているにもかかわらず身体運動を知覚する。これをベクションと呼ぶ。ベクションを測定する実験プログラムを完成させた。そこでは、刺激呈示および応答の記録という基礎的な要素に加え、頭部の動きや向きを計測する方法を習得することができた。また、ハンドトラッキングの方法も習得した。これにより、VR 空間でタブレット端末と同様により直感的な操作での立体視力測定が行えることを確認した。

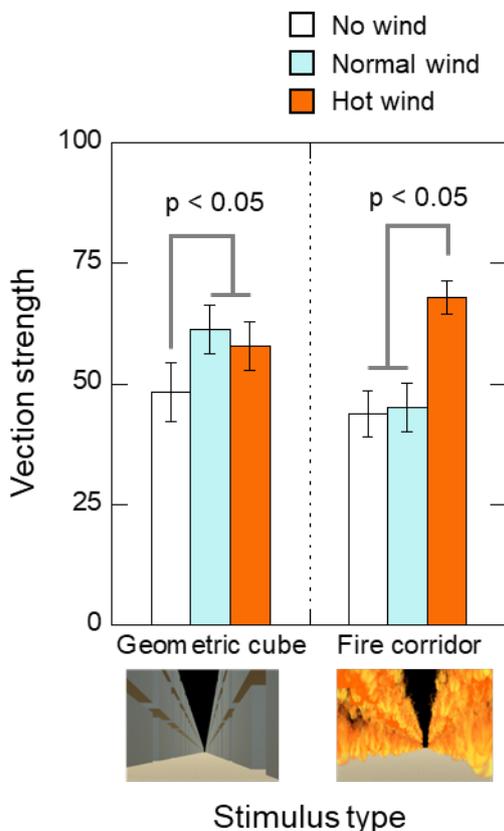


図 5 風の温度と刺激が持つ意味がベクションにおよぼす影響

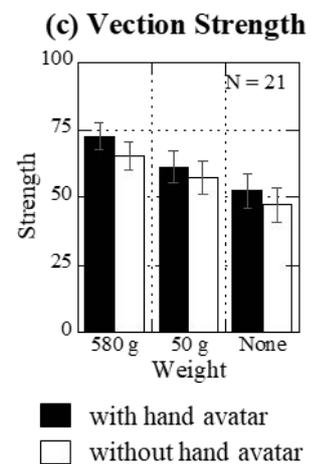


図 6 手のアバターと把持動作がベクションにおよぼす影響

:立体視力測定

目的：(3) で習得した技術を用いて、ヘッドマウントディスプレイ (Meta Quest Pro) を用いた立体視力測定システム環境を構築し、その描画性能でどこまで細かい両眼網膜像差を呈示できるのかを明らかにすることを目指した。

方法：VR 空間内で、0.5 m の距離にダブルヘキサゴンドットを配置した。1つのドットは、直径 0.005 cm の球体で、周辺にある参照ドットは両眼から見え、中心にあるターゲットには左眼と右眼それぞれからしか見ないようにレイヤーを割り当て左眼用ドットと右眼ドット用の位置を操作することで両眼網膜像差を与えた。被験者は、2つあるターゲットの内どちらが手前に見えるのかを応答した。また、このときに、VR 空間内での被験者の目に相当するバーチャルカメラがどのような像を生成するか調べた。

結果：図 7 に像の一例を示す。左上は生成された画像中の刺激がある部分を切り抜いたものである。右上はその階調値を可視化したものである。ダブルヘキサゴンの上部と下部を除く範囲で行方向に平均をとって、画像の階調値がどのように分布していたかを調べた。図中の Lv は、両眼網膜像差の大きさを表す数値であり、Lv が 0 のときに VR 空間で 1 cm の位置ずれがシミュレートされたことを表している。これは、現実空間であれば 34.3 arcmin の両眼網膜像差に相当する。以降、レベルが 1 つ下がるたびに位置ずれは $\sqrt{2}$ で除した値になり、画像の階調値レベルでは、Lv が -16 (実空間での両眼網膜像差では 16.1 arcsec に相当) までは、左右の中心ドットの両眼網膜像差の奥行きが適切に表現されていることを確認した。被験者の応答を見ても、感度の高い被験者は Lv が -15 前後までは弁別できるケースがあることを確認した。

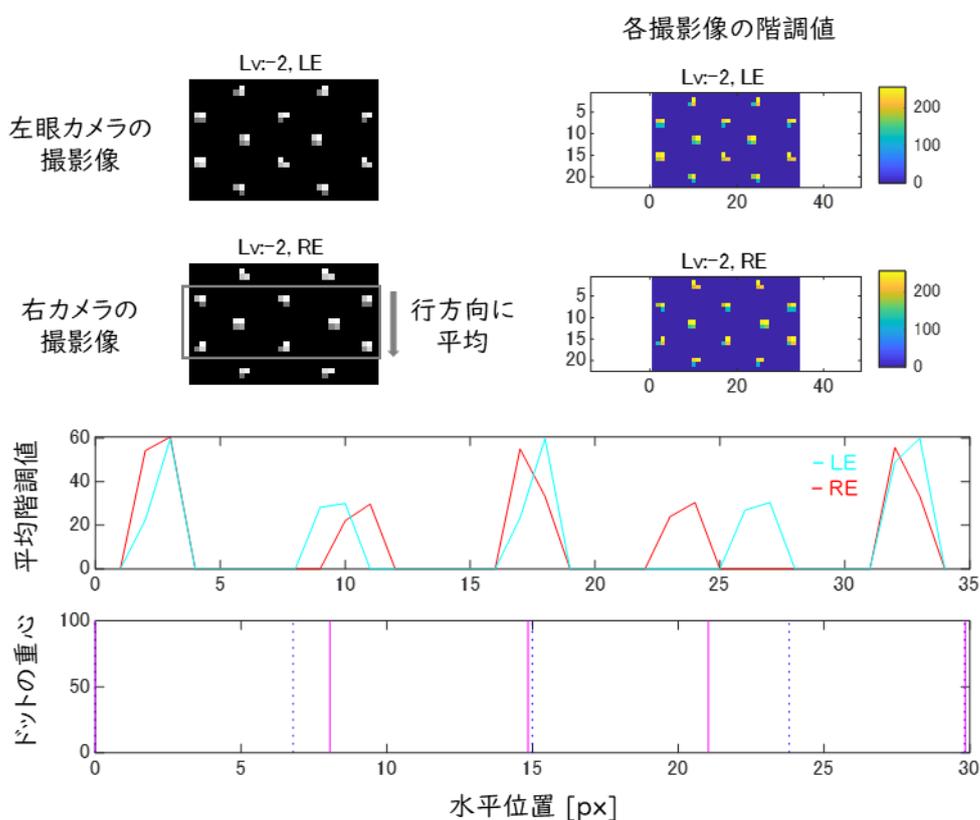


図 7 VR カメラがとらえた像

●まとめ

(1) (2) については、外部で発表するには至らなかった。(3) については、2 報の査読付き論文を発表することができた。(4) については、(3) で培ったノウハウを生かし、VR 空間での視力測定システムを構築することができた。ただし、対外的に発表するに足るほどのデータがあることができなかった。本研究の後続研究ともいえる両眼視の研究 (科学研究費助成事業, 課題番号: 22K12132) を始めているので、その中で本研究で得た知見を活かしていきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ryotaro Yahata, Wataru Takeya, Takeharu Seno, and Yasuaki Tamada	4. 巻 50
2. 論文標題 Hot Wind to the Body Can Facilitate Vection Only When Participants Walk Through a Fire Corridor Virtually	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Perception	6. 最初と最後の頁 154-164
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/0301006620987087	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 玉田 靖明, 白石 健人, 稲富 一貴	4. 巻 27
2. 論文標題 手アバターと把持動作が上昇ベクションにおよぼす影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 227-230
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18974/tvrsj.27.3_227	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 佐藤雅之、利光信太郎、村上義明、玉田靖明
2. 発表標題 両眼網膜像差が自然画像における大きな奥行き知覚におよぼす効果
3. 学会等名 映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション（HI）研究会 / 日本バーチャルリアリティ学会 VR心理学研究会 共催研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuto ARAKI, Yasuaki TAMADA, Masayuki SATO, and Keiji UCHIKAWA
2. 発表標題 An invisible target caused by backward masking induces a saccadic eye movement
3. 学会等名 The 15th Asia-Pacific Conference on Vision(APCV) 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玉田靖明、原一矢、北野健、佐藤雅之
2. 発表標題 サッカー変位抑制におけるブランク効果 -ブランクの長さ開始時刻の影響
3. 学会等名 電子情報通信学会・ヒューマン情報処理(HIP)研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒木拓人、玉田靖明、佐藤雅之、内川恵二
2. 発表標題 見えないターゲットへのサッカー眼球運動 ~ 知覚系と眼球運動制御系への逆行性マスクングの効果 ~
3. 学会等名 電子情報通信学会・ヒューマン情報処理(HIP)研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玉田靖明、原一矢、北野健、佐藤雅之
2. 発表標題 サッカー変位抑制におけるブランク効果 ~ブランクの開始時刻の効果~
3. 学会等名 日本視覚学会2020年冬季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 玉田靖明、内山直樹、佐藤雅之
2. 発表標題 場面に合わせた振動がベクションにおよぼす影響
3. 学会等名 日本視覚学会2018年夏季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 玉田靖明, 小野匠, 藤江龍登, 金子弘, 佐藤雅之
2. 発表標題 眼鏡レンズによる像の歪みが奥行き知覚と装用感におよぼす影響
3. 学会等名 第54回日本眼光学学会総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 玉田靖明, 倉元祐輔, 佐藤 雅之
2. 発表標題 サックード変位抑制におけるブランクとフリッカーの効果
3. 学会等名 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会 (HIP)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 玉田靖明, 田中佑樹, 内山直樹, 佐藤 雅之
2. 発表標題 振動によるベクシヨンの増大 - 振動変調の位相と呈示部位の効果 -
3. 学会等名 映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会 (HI)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 玉田靖明, 倉元祐輔, 佐藤 雅之
2. 発表標題 サックード変位抑制におけるフリッカー刺激の位相の効果
3. 学会等名 日本視覚学会2019年冬季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 現実空間とUnity空間のスケールの対応
2. 発表標題 磐浅康介, 稲富一貴, 玉田靖明
3. 学会等名 日本視覚学会2023年冬季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 稲富一貴, 玉田靖明, 佐藤雅之
2. 発表標題 自然画像の奥行き知覚における両眼視差の効果～球体の刺激～
3. 学会等名 3次元画像コンファレンス2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲富一貴, 玉田靖明, 佐藤雅之
2. 発表標題 自然画像の奥行き知覚における両眼視差の効果～球体の刺激による検討～
3. 学会等名 日本視覚学会2022年夏季大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------