

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03367

研究課題名（和文）自己運動知覚を支える運動視機能と脳内ネットワークの研究

研究課題名（英文）Visual motion processing for self-motion perception and underlying brain network

研究代表者

蘆田 宏（Ashida, Hiroshi）

京都大学・文学研究科・教授

研究者番号：20293847

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：視覚運動情報によるヒトの視知覚と身体的効果について、心理実験による検討を行った。まず、ヘッドマウントディスプレイで観察するオプティックフロー視覚刺激に対する反応について、知覚される自己運動感覚（ベクション）と、無意識に生じる身体動揺の関係に関する一連の成果を得た。また、通常のディスプレイ上の基礎的な視覚運動刺激を用いた心理物理実験による知覚特性に関する一連の知見が得られ、一部を国立台湾大学との共同成果として発表した。さらにfMRIを用いて脳内機構を推定する実験を予備的に実施した。期間中に生じた新型コロナ禍により十分なデータが得られなかったものの、今後の研究に向けた改善の示唆を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

視覚運動情報処理は日常生活における自己あるいは対象物の移動に伴って常に生じていることであり、その理解は生活の質を向上させるための基礎的な課題といえるだろう。その点では本研究の成果は漸進的であり、直ちに新しい理論や応用技術につながるとまではいえない。一方、ヘッドマウントディスプレイに関する知見、特に立位と座位で身体応答が大きく異なるという新事実や、上下視野による違いを示したことは、VRゲーム等のアプリケーションの効率的な設計、また、自動車運転などにおけるAR、MR的情報提示のデザインなどに寄与する可能性があるだろう。

研究成果の概要（英文）：We conducted experimental studies on visual motion information processing and its effect on perception and postural control. First, through psychological experiments using a head-mounted display, we obtained a series of results regarding the relationship between the perceived self-motion (vection) unconscious body sway induced by optic flow stimuli. Second, we examined the perceptual characteristics through psychophysical experiments using more basic visual motion stimuli, some of which were published as collaboration with National Taiwan University. Furthermore, we used fMRI to investigate the brain network underlying optic flow processing, but due to the covid-19 pandemic during this research period, we only obtained pilot data that provided suggestions for future research.

研究分野：実験心理学

キーワード：視知覚 運動視 姿勢制御 ベクション バーチャルリアリティ

1. 研究開始当初の背景

ヒトを含む多くの昼行性の動物は、主に視覚によって移動などの行動を制御している。身体移動の際には視覚的な動きのパターン、すなわちオプティックフローが生じ、その情報が身体制御に利用されている。オプティックフローは拡大・縮小、平行移動、回転などの要素を含むが、特に拡大・縮小は前進・後退に伴って生じる重要な要素である。J. J. Gibson による生態光学の研究でも主要な位置を占めていた(図 1)。そのようなパターンを視覚ディスプレイに提示すると、実際に身体が動いているような感覚、すなわちベクシオンの知覚が生じる(Dichgans & Brandt, 1978)。ベクシオンは長く研究されてきたが、生起メカニズムは十分解明されていない。近年の VR(仮想現実)機器の隆盛に伴い、視覚情報による自己運動感覚と制御、そして、他の感覚との不一致が重要な課題として再検討が必要となっている。視覚運動情報処理とその身体的効果の理解が進めば、心理学、生理学における学術的関心だけでなく、VR 機器などにおける応用にもつながるであろう。

ベクシオン研究で常に問題となってきたのが、知覚体験の客観的な定量化である。多くの場合主観評価に頼らざるを得なかったが、ベクシオン知覚に共起する無意識的な身体制御を身体の揺れとして指標化できることが示唆されてきた(Palmisano et al., 2015)が、その関係はさらに精査する必要があると考えられた。

ベクシオンに関わる脳内部位について、これまでの研究で後頭から頭頂にかけてのネットワークが示唆されてきた(Uesaki & Ashida, 2015)が、処理の詳細は明らかでなく、さらに検討する必要がある。脳内での処理は、網膜位置に局所的な動きの検出から、大域的運動の検出、そして自己運動としての解釈に至る階層的な構造をなしていると考えられている。最初の局所的な段階については多くの心理、生理学的研究により詳細なモデル化が進んできたが、大域的な知覚については基礎的な研究がそれほど進んでいるとはいえない。たとえば、人は拡大運動より縮小運動に敏感だという報告がある(Edwards & Badcock, 1993)、現代の基準で見るとデータが少ないなど、再検討の余地が多々残っており、実証的研究を続ける必要があった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、VR 視環境におけるベクシオンの生起要因を再検討し、それを支える脳機能の理解を進めることとした。具体的には 1) VR 環境におけるベクシオンと姿勢制御の生起要因、2) ベクシオンを支える運動視の基礎過程、3) ベクシオンを支える脳機能、という 3 つの観点から、実験的に検討を進め、総合的な理解を深めることを目指した。特に 1)3)はまだ研究報告が少なく、独自性が高いと考えられた。2 については多くの先行研究を踏まえつつ、多く残る未解明な点を少しずつでも解明していくことを目的とした。

3. 研究の方法

前項の目的 1-3 に対応して、本研究では次の 3 つの研究を行った。

1) HMD によるベクシオンと身体応答

商用 HMD 機器(Oculus Rift / HTC Vive)を利用し、ランダムドットパターンが三次元的に接近、後退する視覚運動刺激(図 2)を視覚提示した。星々の間を飛ぶようなイメージだが、直接自分にぶつかってこないように設定した。ベクシオンは主観評価(rating)を中心に、戦時、持続時間も分析に加えた。身体応答としては、まず、頭部運動の指標として、HMD から得た位置データの前後軸上の値を使用した。一部の実験では、フォースプレート(任天堂 バランス Wii ボードを PC モニタに接続して使用)による重心動揺測定を併用した。

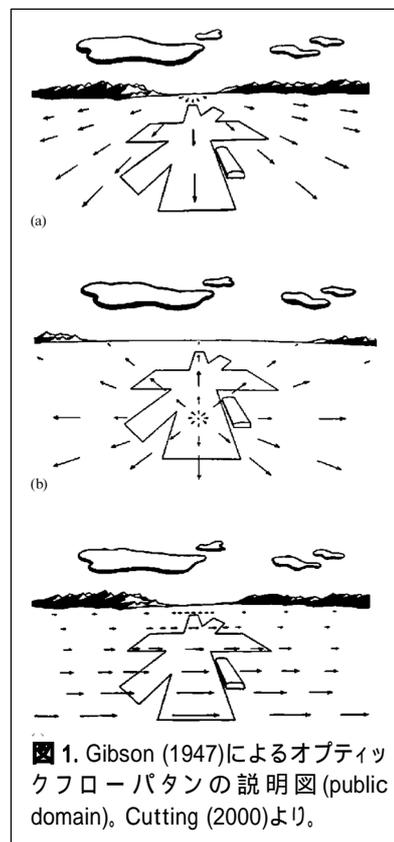


図 1. Gibson (1947)によるオプティックフローパターンの説明図(public domain)。Cutting (2000)より。

まず、ベクシオン・身体動揺の上下視野と運動方向への依存性 (Fujimoto & Ashida, 2019)、立位・着座姿勢における違い (Fujimoto & Ashida, 2020) を検討した。これらは研究機関前か進めてきたものに追加データを得て論文として発表したものである。また、身体動揺の指標としての頭部運動の妥当性を示すため、同時に測定した頭部運動とフォースプレートによる圧力中心 (CoP) データの比較を行った (Ashida & Fujimoto, 2022)。

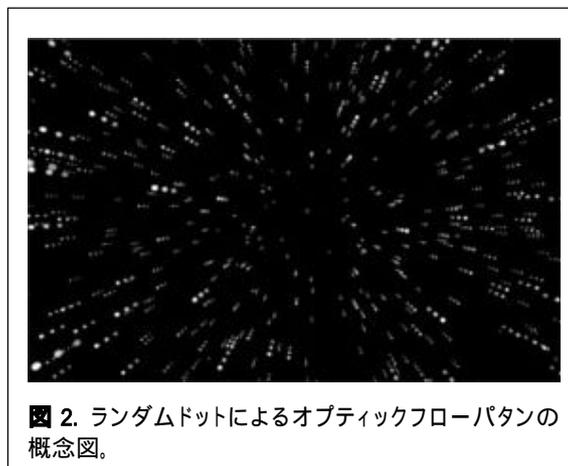


図 2. ランダムドットによるオプティックフローパタンの概念図。

2) 運動視の基礎過程に関する心理物理実験

心理物理実験によって、ベクシオンの基礎となる運動視の基礎過程を検討する。既に着手している大域的運動知覚について再検討する

研究 (Chen et al., 2020) に続き、周辺視野における求心性と遠心性のバイアスという矛盾した知見の解決と、ベクシオンにおける前後の異方性との関係を調べるため、比較的多くの参加者を対象に、拡大縮小運動を含むランダムドット刺激を用いてコヒーレンス閾を調べる心理物理実験を行った (Ashida et al., ECVF 2019 など)。

3) ベクシオンに関連する脳機能画像測定 (fMRI)

オプティックフロー刺激に対する脳活動を fMRI を用いて測定した。新型コロナ禍による制限と自主的規制のため、本実験まで完了することができなかったが、関心領域を同定する予備実験を行った。

4. 研究成果

1) HMD によるベクシオンと身体応答

成果 1-1 上下視野の異方性

VR HMD を用いた実験の結果、拡大縮小オプティックフロー刺激による頭部運動は下視野提示で効果が大きく、ほぼ全視野提示の効果に近いこと、上視野提示ではほとんど応答が得られないことがわかった。また、縮小刺激が大きく作用し、拡大運動はほとんど効果がなかった。ベクシオン強度にも既報 (Sato et al., 2007) の通り類似した効果があることが確認されたが、頭部運動ほどの大きな差はなかった (図 3)。下視野の効果が高いことは、通常移動する際には地面や床が重要だからかもしれない。通常の前進運動に伴って生じる拡大運動で効果がないことは意外であるが、むしろ後退 (縮小) の経験が少ないため多感覚による抑制を受けにくく、また、身体の構造と前向きな視界のため、前方向への移動は足を動かさなくても容易であるが、縮小運動が示唆する後向きな転倒は危険なため、より敏感に反応するのかもしれない。 (Fujimoto & Ashida, 2019 *i-Perception*)

成果 1-2 上下の座標系

上記のような上下位置の異方性は網膜座標あるいは環境座標に依存するかを検討した。網膜座標軸と環境座標軸が一致する座位と、一致しない仰臥位において、HMD によって視覚提示を独立に操作した。側臥位においては頭部移動が生じにくいので、主観的なベクシオン測定のみとし

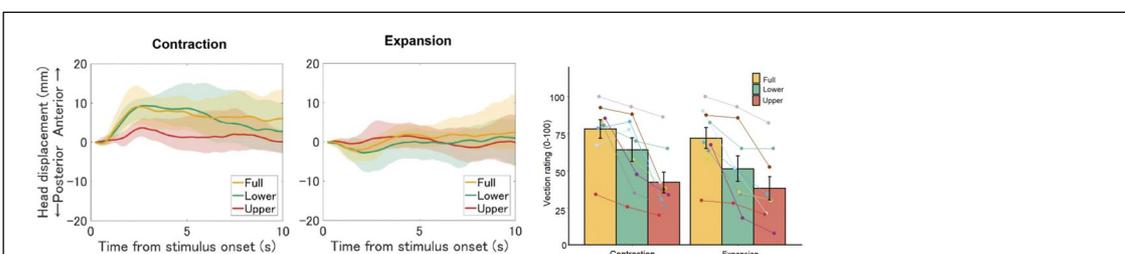


図 3. 縮小 (contraction)、拡大 (expansion) オプティックフロー刺激による前後方向の頭部移動とベクシオン強度。Fujimoto & Ashida (2019, *i-Perception*, CC-BY)

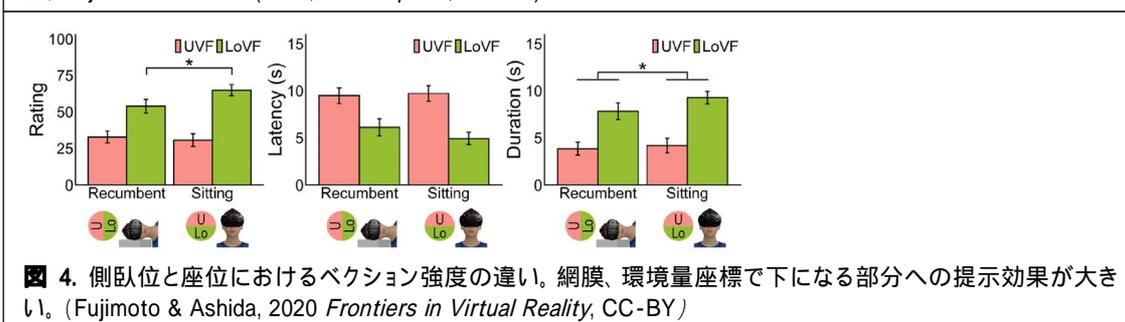


図 4. 側臥位と座位におけるベクシオン強度の違い。網膜、環境量座標で下になる部分への提示効果が大きい。 (Fujimoto & Ashida, 2020 *Frontiers in Virtual Reality*, CC-BY)

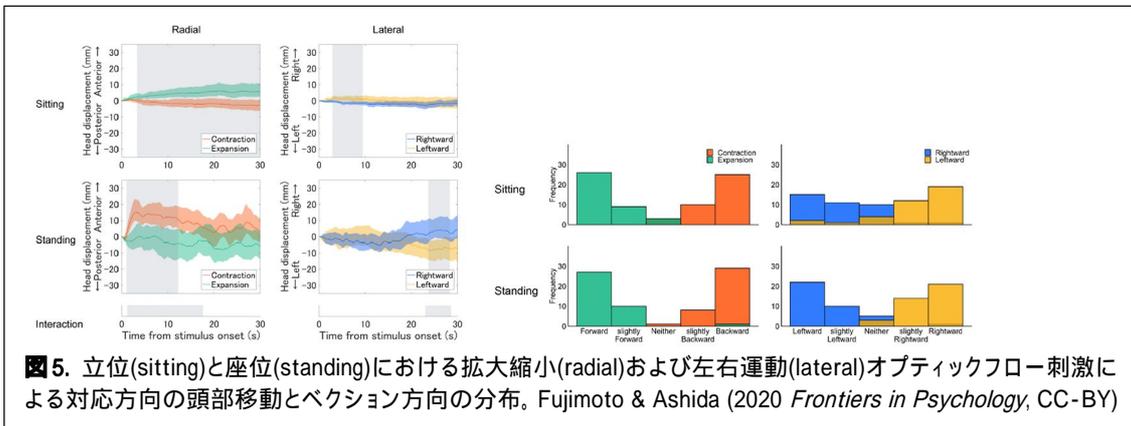


図5. 立位(sitting)と座位(standing)における拡大縮小(radial)および左右運動(lateral)オプティックフロー刺激による対応方向の頭部移動とベクション方向の分布。Fujimoto & Ashida (2020 *Frontiers in Psychology*, CC-BY)

た。結果として、両座標が一致する際にベクションが強化された(図4)。網膜座標が上下を決める主因であるが、環境座標も影響する可能性が示された。(Fujimoto & Ashida, 2020 *Frontiers in Virtual Reality*)。

成果 1-3 立位と座位の比較

頭部移動は立っているときと座っているときで逆方向に生じることが明らかになった(図5)。前後方向、左右方向とも、立位では感じられる身体運動とは逆方向に動くことで立位バランスを保とうとすると考えられる。上記の成果1でも同様であった。座位は安定しているのでバランスをとる必要性は低く、むしろ身体感覚との整合をとる、あるいは加減速に備える方向に動くのかもしれない。これらは無意識的に生じており、知覚されるベクションにはほとんど差がなかった。身体制御と知覚の乖離を示す一例としても興味深い。また、VR アプリケーションの画面構成を考える上でも重要な示唆を与えらると思われる(Fujimoto & Ashida, 2020)。

成果 1-4 重心移動と頭部移動の関係

HMDにより前後方向への往復を繰り返すオプティックフローを観察する時の、頭部運動と足裏の圧力中心移動の比較を行った結果、少なくとも視覚運動によって誘導される姿勢制御の指標として両者に顕著な差は見られないことがわかった。両者の特性は定性的にはほぼ一貫しており、定量的には周波数解析ではどちらも刺激の往復に伴う周波数における振幅ピークが観察され、位相もほぼ両者で一貫していた一方、若干の差もあった。たとえば、Detrended Fluctuation Analysisによれば頭部運動の方がよりスムーズな変位を示したことが示唆されたが、このことがこれまでの研究における条件比較に大きく影響するものではないと考えられた。(Ashida & Fujimoto, 2022 *Frontiers in Virtual Reality*)

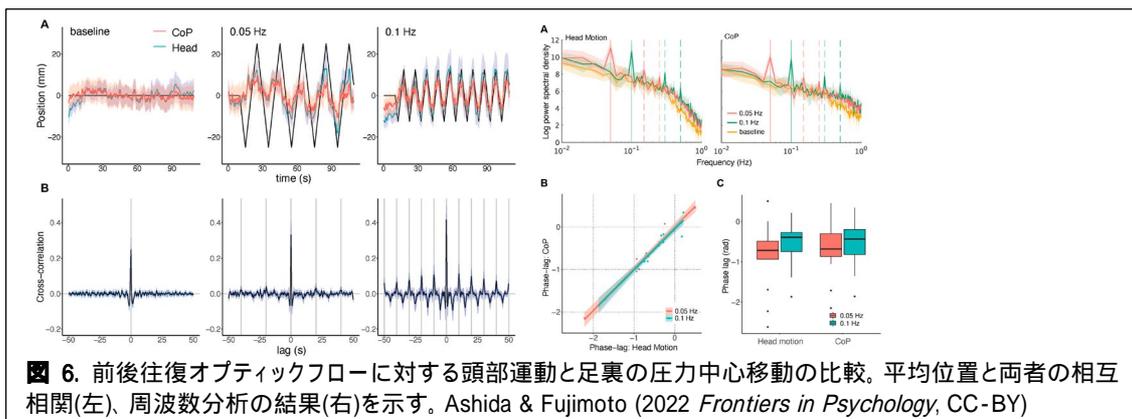


図6. 前後往復オプティックフローに対する頭部運動と足裏の圧力中心移動の比較。平均位置と両者の相互相関(左)、周波数分析の結果(右)を示す。Ashida & Fujimoto (2022 *Frontiers in Psychology*, CC-BY)

2) 運動視の基礎過程に関する心理物理実験

成果 2-1 ランダムドット運動における大域的運動知覚

陳建中教授(国立台湾大学)との共同研究として実施した。一連の研究でランダムドット刺激を用いたオプティックフローパターンを使用してきたが、ランダムドット刺激の特徴として大域的運動信号の強度を coherence として操作できることがあげられる。全くランダムな運動から一貫したフローまでを連続的に作成できることを利用して、大

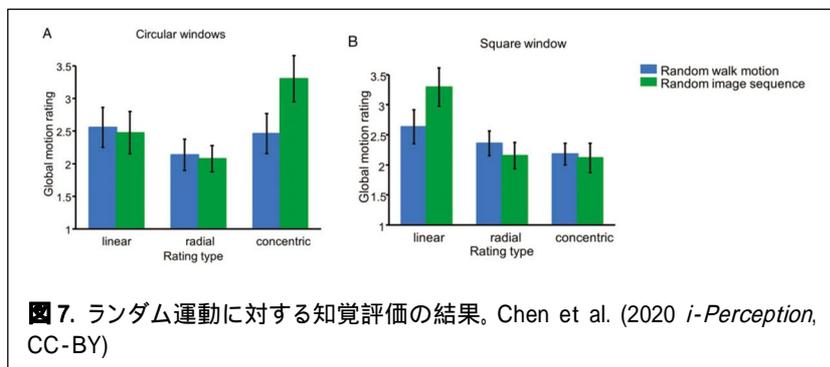
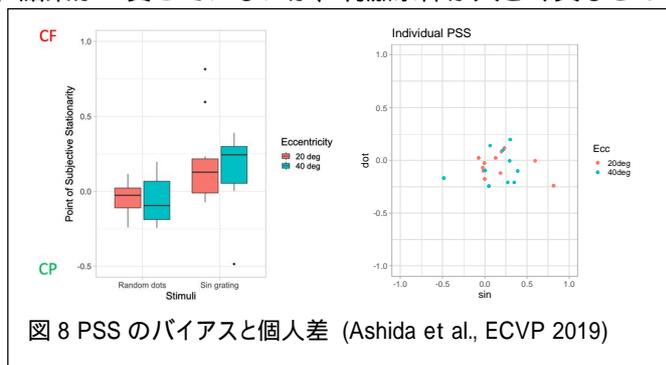


図7. ランダム運動に対する知覚評価の結果。Chen et al. (2020 *i-Perception*, CC-BY)

域的運動の知覚閾を測定する研究が行われてきた。しかし、いろいろな動きが見えてくることがあるように、必ずしも刺激によって規定されない見え方もできてしまう。本研究では、一つの刺激に対してあえて複数のオプティックフロー要素への評定を行わせた点が新しい着眼であった。結果として、運動の知覚は必ずしも一意的ではなく、また、提示枠という刺激コンテキストが大きな影響を持つことが明らかになった(図7)。枠の影響は、各時点でスムーズな動きを保つランダムウォーク運動では見られなかった。ランダムにジャンプする刺激を解釈する上で、ボトムアップの運動信号以外のトップダウン要素の影響が示唆された。(Chen, Ashida, Yang, & Chen, 2020 *i-Perception*)

成果 2-2 拡大・縮小運動知覚の異方性

HMD による実験で示された拡大・縮小運動の違い(成果 1-1)の原因を検討するため、拡大方向と縮小方向への動きの検出感度を比較する心理物理学実験を行った。先行研究では、ランダムドットでは縮小への感度が高く(Edwards & Badcock, 1993)、正弦波縞では拡大へのバイアスが見られる(Georgeson & Harris, 1978)など、結果が一貫していないが、刺激条件が大きく異なるので比較が困難であった。そのため、周辺視野の同じ位置(中心から左 20, 40 度)に刺激パッチを提示し、正弦波縞とランダムドットの知覚バイアスを調べる実験を行ったところ、正弦波縞では主観的静止点(PSS)に遠心性バイアス(拡大方向)が見られたが、ランダムドットには有意差がなく、大きな個人差が見られた。ランダムドットの実験条件には改良の余地があるので引き続き検討を続け、論文発表を目指している。(Ashida, Yang, & Chen, ECVF 2019)



成果 2-3 上下視野の速度バイアス

成果 1-1 で見られた上下視野の異方性の原因として、上下視野における速度知覚の違いがあるかもしれない。そのため、上下視野に逆方向のランダムドット運動を提示し、上下間での速度の主観的等価点(PSE)を求めた。視野によるバイアスを示す結果が得られたが、中心部との経時比較を求める追加実験では差が消失した。視野による速度知覚の違いは本質的な速度処理の違いではなく、比較における注意などの二次的要因による可能性がある。紙数の都合で結果の図は省略した。(Ashida & Fujimoto, ECVF 2023)

3) ベクシオンに関連する脳機能画像測定 (fMRI)

京都大学心の未来研究センター(現人と社会の未来研究院)連携 MRI 施設において、オプティックフロー観察時の脳活動を測定する予備実験を行った。以前の研究では拡大ゴーグルを使用してある程度の視野サイズを確保したが、前頭ヘッドコイルを外す必要があり、前頭部がきれいに撮像できない問題があった。今回、視覚刺激プログラムを一新して拡大なしの視覚刺激で関心領域特定のための撮像を行ったが、必要な領域で十分なコントラストを得ることができなかった。新型コロナ禍のもとで fMRI 実験の実施を控え、比較的感染対策がしやすい心理実験に時間と予算を注力した結果、これ以上の進展を得ることができなかったことが残念であるが、今後、視野角確保を重視するため、他の研究所との連携をもとに実験計画を考えていきたい。

5 . 引用文献

本研究の報告に含まれる発表論文を除く

Cutting, J. E. (2000). Images, imagination, and movement: Pictorial representations and their development in the work of James Gibson. *Perception*, 29, 635-648.

Dichgans, J., & Brandt, T. (1978). Visual-vestibular interaction: Effects on self-motion perception and postural control. In R. Held, H. Leibowitz, & H.-L. Teuber (Eds.), *Handbook of sensory physiology perception*, vol VIII (pp. 755-804). Berlin, Germany: Springer.

Edwards, M., & Badcock, D. R. (1993). Asymmetries in the sensitivity to motion in depth: A centripetal bias. *Perception*, 22(9), 1013-1023.

Georgeson, M. A., & Harris, M. G. (1978). Apparent foveofugal drift of counterphase gratings. *Perception*, 7, 527-536.

Gibson J J (Ed.), 1947 "Motion picture testing and research", Report No 7, *Army Air Force Aviation Psychology Program Research Reports* (Washington, DC: US Government Printing Office)

Palmisano, S., Allison, R. S., Schira, M. M., and Barry, R. J. (2015). Future challenges for vection research: Definitions, functional significance, measures, and neural bases. *Front. Psychol.* 6, 193.

Sato, T., Seno, T., Kanaya, H., & Hukazawa, H. (2007). The ground is more effective than the sky – The comparison of the ground and the sky in effectiveness for vection. In *Proceedings of ASIAGRAPH 2007*, Shanghai (pp. 103-108). Tokyo, Japan: Virtual Reality Society of Japan.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Ashida Hiroshi, Fujimoto Kanon	4. 巻 3
2. 論文標題 Comparing measurements of head motion and centre of pressure for body sway induced by optic flow on a head-mounted display	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Virtual Reality	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/frvir.2022.1026718	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 -
1. 著者名 Fujimoto, K. & Ashida, H.	4. 巻 22
2. 論文標題 Postural adjustment as a function of scene orientation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Vision	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1167/jov.22.4.1	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 -
1. 著者名 Fujimoto Kanon, Ashida Hiroshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Different Head-Sway Responses to Optic Flow in Sitting and Standing With a Head-Mounted Display	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpsyg.2020.577305	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 -
1. 著者名 Chen Chien-Chung, Ashida Hiroshi, Yang Xirui, Chen Pei-Yin	4. 巻 11(5)
2. 論文標題 Seeing Global Motion in a Random Dot Image Sequence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 i-Perception	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/2041669520961104	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 該当する

1. 著者名 Fujimoto Kanon, Ashida Hiroshi	4. 巻 1
2. 論文標題 Roles of the Retinotopic and Environmental Frames of Reference on Vection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Virtual Reality	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/frvir.2020.581920	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 -

1. 著者名 Fujimoto Kanon, Ashida Hiroshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Larger Head Displacement to Optic Flow Presented in the Lower Visual Field	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 i-Perception	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/2041669519886903	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7件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 蘆田宏・藤本花音
2. 発表標題 拡大縮小オプティックフローによる頭部移動と圧力中心移動の比較
3. 学会等名 日本視覚学会2022年夏季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ashida, H. & Fujimoto, K.
2. 発表標題 Perceived speed in the upper and lower visual fields.
3. 学会等名 ECVP2023 (Aug, 2023, Cyprus) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Fujimoto, K. & Ashida, H.
2. 発表標題 Effect of room aspect ratio on verticality perception bias.
3. 学会等名 ECVP2023 (Aug, 2023, Cyprus) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Fujimoto, K. & Ashida, H.
2. 発表標題 Postural adjustment as a function of the spatial frame tilt.
3. 学会等名 Vision Sciences Society (V-VSS) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 蘆田宏・藤本花音
2. 発表標題 HMDを用いた視覚性自己運動感覚と姿勢制御の実験研究
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 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fujimoto, K. & Ashida, H.
2. 発表標題 Relationship between vection and head displacement in sitting and standing postures.
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Vision (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ashida, H., Yang, X., Chen, C-C.
2. 発表標題 Re-visiting the peripheral bias for optic flow.
3. 学会等名 European Conference on Visual Perception (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 蘆田宏 (安井真奈美、ローレンス・マルソー 編)	4. 発行年 2023年
2. 出版社 臨川書店	5. 総ページ数 20
3. 書名 想像する身体 下巻	

1. 著者名 蘆田宏 (吉澤 達也 編)	4. 発行年 2023年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 18
3. 書名 感覚知覚の心理学	

1. 著者名 J. Peirce, M. MacAskill (監訳) 蘆田 宏、十河 宏行	4. 発行年 2020年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 328
3. 書名 PsychoPyでつくる心理学実験	

〔産業財産権〕

〔その他〕

VISION Science Lab (Ashida Lab)
<https://www.psy.bun.kyoto-u.ac.jp/ashida/>

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		
その他の国・地域	國立臺灣大学		