

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

三次元視空間内の運動知覚における
参照枠

Characteristics of reference frame on
the motion perception in
three dimensional visual space

申 請 者

棚橋	重仁
Shigehito	TANAHASHI

物理学及応用物理学専攻 像光学研究

2012 年 10 月

(受理申請する部科主任会開催年月を記入)

さまざまな感覚器を通して得られる外界や自己の運動情報を，我々の脳がどのように処理し，そうした運動知覚へと結びつけているかについては，未だ議論の対象となるところである．これら 2 つの運動情報を区別して知覚する事は我々が外界に適応した行動を行うために必要不可欠であり，何等かの“動かない”，“傾かない”とされる基準（参照枠）を用いる必要がある．参照枠に関する研究は，2 つの運動情報を得るために主要な役割を果たす視覚での研究が，主として行われてきた．自己運動の観点からは，さらに内耳にある半規管及び耳石による前庭感覚や筋紡錘からの求心性信号による体性感覚などによって得られる重力情報なども参照枠になり得る．しかしながら，運動情報に関して異なる感覚器官に基づく参照枠の相互関係について十分な議論は行われてない．

視対象や自己の運動知覚における参照枠を解明することは，三次元空間における自己定位のメカニズムを明らかにすることにつながる．さらに，バーチャルリアリティ（VR）システムの実社会への応用や航空機，鉄道等の運転シミュレータ等で生じている感覚情報間のズレによる不快症状，さらには自己定位のズレや不安定性をできるだけ解消するなど，実場面の問題解決につなげることができる．

本研究の目的は，人間の運動知覚における参照枠を異なる感覚情報の観点から検討し，明らかにすることである．特に，本論文では上述した点を踏まえて 2 つの観点から検討する．第一に，視覚情報が他の感覚情報に優先することで知覚される視覚誘導性自己運動感覚（ベクション）における参照枠を，視覚情報による参照枠とその他の感覚情報による参照枠の相互関係から検討する．第二に，視対象の相対網膜像差の変化による奥行き運動（motion-in-depth）知覚における参照枠に影響を与える視覚情報の観点から検討する．その上で，視対象と自己の運動知覚の双方の参照枠を含む運動知覚の参照枠に関するメカニズムを議論する．

以下に本論文の構成を述べる．

一章では，序論として本研究の背景，ならびに目的を述べる．

二章から五章では，自己運動知覚の 1 つであるベクションに着目し，この知覚現象における参照枠の検討を行った．ベクションは，通常一定ではなく，その強度が変化するとともに，自己運動知覚だけでなく視覚刺激（視対象）の運動知覚と併せて両者が交互に生じる場合が多い．ベクションでは，実際の自己運動を伴っていないため前庭感覚系による運動情報が入力されず，視覚系による運動情報のみが入力されている状態である．従って，ベクションが生じている際には視覚による参照枠を優先していると言えるが，実際にはベクションは断続的で，また強度変化を伴うため，視覚と前庭感覚による参照枠が相互に影響しあい不安定な状態にあると考えられる．この点を踏まえて，二章から四章では，自己運動知覚に大きな役割を果たしている視覚と前庭感覚の相互関係を通してベクションにおける参照枠の特性を検討する．具体的には，異なる回転刺激と観察姿勢を組み合わせることで，視覚情報と耳石器から出力される情報の矛盾量を操作するとともに，

視覚刺激の視野の大きさを変化させることで、視覚情報の量を操作する。

二章では、ベクシヨンの時間変化特性やベクシヨン強度の視覚情報と耳石器情報との矛盾による影響に着目した実験について述べる。視覚刺激は、ランダムドットを内面に張り付けた直径 100 cm の球体が 3 種類の異なる回転運動 (pitch, roll, yaw) をする様子を模した CG 映像で、これを異なる 3 種類の観察姿勢 (仰臥, 横臥, 座位) に合わせて配置された平面ディスプレイ (120 × 100 cm) にそれぞれ呈示する。計測項目は、試行中に応答ボックスを用いて行うベクシヨン強度の実時間での 5 段階評価と、試行後に口頭で回答する試行中の平均的ベクシヨン強度の 11 段階の口頭評価とする。実験の結果、ベクシヨンの時間変化を確認するとともに、roll ベクシヨンでは、視覚情報と耳石器情報との矛盾が大きいときにベクシヨン強度が大きいことが明らかになった。この結果は、視覚情報と耳石器情報との矛盾が小さいときにベクシヨン強度が大きかった Young ら (1983) や Howard (1987) の研究結果と異なるものであった。ベクシヨン時にそれとは異なる見かけの自己傾斜が生起される場合があることから、この見かけの自己傾斜がベクシヨン強度の評価に影響を及ぼしている可能性について検討する必要がある。

三章では、上述した見かけの自己傾斜の影響を確かめるために、二章と同様の実験条件でベクシヨンと見かけの自己傾斜を同時に計測する実験について述べる。実験の結果、見かけの自己傾斜はベクシヨンと明確に区別して知覚しているが、視覚情報と耳石器情報との矛盾量の違いに因らず、ほぼ知覚されていないことが示された。また、ベクシヨンは、二章の実験結果と同様に、視覚情報と耳石器情報との矛盾量が大きいときにより強く知覚した。したがって二章の結果が確認されたため、視覚刺激の視野の大きさを変化させることで、視覚情報量の影響について、検討する必要がある。

四章では、観察者に呈示する視覚刺激の視野サイズを変化させることで、ベクシヨンや見かけの自己傾斜に対する視覚的なフレームの効果を検討する。視覚刺激は二、三章と同様の球体の内面に貼られたランダムドットの 3 種類の回転運動についての CG 映像で、これを観察者の視野をほぼ完全に覆うような内径 150 cm の半球ドームに呈示する。刺激の視野サイズは、異なる 3 種類 (直径 90°, 120°, 180°) のいずれかである。この時、観察者の視野内にできるだけ視覚的なフレームを含まない条件を 180° 条件とする。計測項目は三章の実験と同じとする。実験の結果、180° 条件であれば、視覚情報と耳石器情報との矛盾が小さいときに、ベクシヨン強度が増大することが示唆された。また、見かけの自己傾斜も 180° 条件であれば、視覚情報と耳石器情報との矛盾が大きいときにより大きく知覚し、観察者の視野を完全に覆うような条件で実験を行っていた過去の報告と一致する結果が得られた。二章から四章の議論から、限られた視野に視覚情報が呈示された場合、視覚情報と耳石器情報との矛盾が大きいときにベクシヨン強度が大きく、視覚情報の呈示領域が大きくなる場合、過去の研究と同様に、視覚情報と耳石器情報と

の矛盾が小さいときにベクシオン強度が小さいことが明らかになった。

五章では、ベクシオンと姿勢制御に対する参照枠の共通性について検討する。視覚刺激は、ランダムドットもしくは部屋を模したテクスチャを貼り付けた 3D 空間 ($5 \times 5 \times 3 \text{ m}$) が roll 運動する CG 映像で、これを平面スクリーン ($230 \times 170 \text{ cm}$) に呈示する。計測項目は、ベクシオンの有無の他、観察者の足圧中心変化と頭部位置変化の 2 種類を計測するために、重心動揺計と電磁式 3D モーション・トラッキング・システムを用いた。さらに、本実験では、1 試行中に計測された身体位置の標準偏差を身体位置変化の不安定性の指標とし、この値とベクシオンとの関係などを詳細に検討した。その結果、ベクシオンの有無に因らず、視覚刺激の運動方向に従って身体動揺が生じるだけでなく、ベクシオン時の身体動揺はベクシオンが生起されていない場合と比べて、視覚刺激の運動方向により大きく生じることが示された。また、身体位置変化の不安定性は、視覚刺激の運動方向に因らず全方向に増大することが明らかになった。これらの結果から、運動知覚と身体動揺には同一の視覚情報による参照枠が用いられている一方、身体動揺にはそれとは別に他の感覚情報による参照枠も関与していることが考えられる。

六章では視対象の運動の 1 つである motion-in-depth における参照枠を検討する。これまでの研究により、三次元視空間において視対象の奥行方向への運動知覚は両眼視差の変化のみでは生起されないことが示されてきた。それに対して、観察者の視野内に静止した視標を呈示することで両眼網膜像差の変化が生じることにより、観察者は視対象の奥行方向への運動を知覚した。これを参照枠の観点から考えると、“動かない”・“傾かない”基準となる何等かの静止している視覚情報を参照枠とすることで、初めて奥行方向の運動知覚が生起されたと考えられる。しかしながら、どのような視覚情報が参照枠となるのか、これまでの研究では検討が必ずしも十分でなかった。本章では、両眼網膜像差以外のどのような視覚情報が motion-in-depth の参照枠を決定するのかを検討する。視覚刺激は、2 つの異なる面に存在するテクスチャで構成される視標であり、これらに 4 つの異なる視覚属性 (サイズ, 輝度, 両眼視差変化の有無, 両眼視差の平均値) を付加する。そのために、2 つの異なる面の視標を、2 種類のスクリーン ($100 \times 100 \text{ cm}$) に OHP を用いて呈示した。1 つは観察者の正面に設置され、これに呈示された視標は常に静止している。もう 1 つは観察者の左右に 1 つずつ設置され、これに呈示された視標は観察者の眼前に設置した直角なハーフミラーを通して融像し、両眼視差の時間変化が与えられる。計測項目は、ポテンショメータで観察者が応答する奥行き運動知覚量とする。実験の結果、大きな視標や明るい視標が参照枠となり得ることが明らかになった。

七章では、自己と視対象の運動知覚の参照枠を全般的に議論することで、運動知覚における参照枠のモデルを構築し、本論文を総括するとともに、本研究の今後の課題と展望を述べる。

早稲田大学 博士（理学） 学位申請 研究業績書

氏名 棚橋 重仁 印

(2013 年 3 月 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
論文	<p>○<u>Tanahashi, S.</u>, Ujike, H., Ukai, K.: Visual rotation axis and body position relative to the gravitational direction: Effects on circular vection. <i>i-Perception</i>, 3 (10), 804-819, 2012</p> <p><u>Tanahashi, S.</u>, Segawa, K., Zheng, M., Kuze, J., Ukai, K.: Monocular viewing prologs reversal interval of rival figure. <i>Optical Review</i>, 19 (5), 345-348, 2012.</p> <p>○<u>Tanahashi, S.</u>, Ujike, H., Kozawa, R., and Ukai, K.: Effects of visually simulated roll motion on vection and postural stabilization. <i>Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation</i>, 4 (39), 2007.</p>
国際会議	<p><u>Tanahashi, S.</u>, Okinaka, T., Segawa, K., and Ukai, K.: Pupil size relative to the perceptual reversal interval when different ambiguous figures' luminance enters each eye. European Conference on Visual Perception 2011, Toulouse, France, 28 August - 1 September. Abstract cited in <i>Perception</i>, 40, 145, 2011.</p> <p><u>Tanahashi, S.</u>, Ujike, H., and Ukai, K.: Effects of stimulus size and posture relative to the gravity axis on circular vection. European Conference on Visual Perception 2010, Lausanne, Switzerland, 22 - 26 August 2010. Abstract cited in <i>Perception</i>, 39, 140, 2010.</p> <p>Kawano, M., Ukai, K., Sakata, K., <u>Tanahashi, S.</u>: Effects of Abrupt Color and Luminance Change on Reappearance in Motion-induced Blindness. The 6 th Asia-Pacific Conference on Vision, Taipei, Taiwan, 23 - 26 July 2010. Abstract cited in <i>VISION</i>, 22, 33.02, 2010.</p> <p>Nakamura, N., <u>Tanahashi, S.</u>, Ukai, K.: Dynamic Measurement While Viewing Stereoscopic Images of Parallel Method. The 6 th Asia-Pacific Conference on Vision, Taipei, Taiwan, 23 - 26 July 2010. Abstract cited in <i>VISION</i>, 22, 33.17, 2010</p> <p>Miyahara, Y., <u>Tanahashi, S.</u>, Ukai, K.: Synchronism of Perceptual Reversals Involving Two Horizontally Presented Ambiguous Figures The 6 th Asia-Pacific Conference on Vision, Taipei, Taiwan, 23 - 26 July 2010. Abstract cited in <i>VISION</i>, 22, 33.31, 2010.</p> <p>Ukai, K., <u>Tanahashi, S.</u>, Segawa, K., Zheng, M., and Kuze, J.: Monocular viewing prolongs interval of perceptual reversal. European Conference on Visual Perception 2009, Regensburg, Germany, 24 - 28 August 2009. Abstract cited in <i>Perception</i>, 38, 28, 2009.</p> <p><u>Tanahashi, S.</u>, Howard, I. P., Ukai, K., and Ujike, H.: Interactions between a stationary stimulus and a stimulus moving in depth. European Conference on Visual Perception 2008, Utrecht, 24 - 28 August 2008. Abstract cited in <i>Perception</i>, 36, 72, 2008.</p> <p><u>Tanahashi, S.</u>, Ujike, H., and Ukai, K.: Visual rotation axis and posture relative to the gravity axis: Effects on circular vection. Optical Society of America Fall Vision Meeting, Berkeley, United States of America, 16 - 19 September 2007. Abstract cited in <i>Journal of Vision</i>, 7, 109, 2007.</p> <p><u>Tanahashi, S.</u>, Ujike, H., and Ukai, K.: Interaction between circular vection strength and posture. The 5th 21st Century COE Symposium on Physics of Self-organization System, Tokyo, Japan, 14 September 2007.</p> <p><u>Tanahashi, S.</u>, Ujike, Y., and Ukai, K.: Effects of visually simulated roll motion and its repeated exposures on postural stabilization. The 4th Asian Conference on Vision, Matsue, Japan, 29 - 31 July 2006.</p> <p>Zheng, M., <u>Tanahashi, S.</u>, and Ukai, K.: Influences of various visual stimuli conditions on perceptual depth reversal of Mach book. The 3rd Asian Conference on Vision, Chongqing, China, 15 - 19 November 2004.</p>

早稲田大学 博士（理学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
国内会議	<p>棚橋重仁，氏家弘裕，鵜飼一彦：ベクションの知覚機序における視覚と前庭感覚間の相互関係．第 54 回日本産業・労働・交通眼科学会，横浜，2012 年 10 月 20 日．</p> <p>棚橋重仁，Ian Howard，鵜飼一彦，氏家弘裕：奥行き方向の運動知覚における静止刺激と運動刺激間の相互作用．日本視覚学会 08 年夏季大会，横浜，2008 年 8 月 4-5 日．</p> <p>棚橋重仁，小澤良，氏家弘裕，鵜飼一彦：視覚的ロール運動刺激による断続的ベクションと身体動揺との関係．日本視覚学会 05 年夏季大会，仙台，2005 年 7 月 20-22 日．</p> <p>棚橋重仁，鄭美紅，鵜飼一彦：奥行反転図形の反転頻度の明るさによる変化．日本視覚学会 04 年夏季大会，高知，2004 年 7 月 21-23 日．</p>
講演会	<p>棚橋重仁，鳥居正人，福嶋哲也，岡田侑樹，中村直樹，鵜飼一彦：ステレオ映像視聴時の調節・輻輳の動的反応の測定．日本視覚学会 10 年夏季大会，横浜，2010 年 8 月 2-3 日．</p>

早稲田大学 博士（理学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）