



# 没入型映像空間における傾き知覚の分析 (1)

## ～左右方向の傾き知覚について～

三浦勇樹<sup>1)</sup>, 古賀宥摩<sup>1)</sup>, 新井啓介<sup>1)</sup>, 小西晃広<sup>2)</sup>  
橋口哲志<sup>1)</sup>, 木村朝子<sup>1)</sup>, 柴田史久<sup>1)</sup>, 田村秀行<sup>3)</sup>

1) 立命館大学 情報理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

2) 立命館大学大学院 情報理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

3) 立命館大学 総合科学技術研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

**概要** : ベクシオンとは, 視覚刺激を観察することによって発生する運動感覚であり, 直線運動や回転運動を表現することができる. このベクシオンのうち, 本稿では回転運動である左右の傾き知覚に着目し, 傾き量 (以下, 傾き角度) と傾きに要する時間 (以下, 傾き所要時間) が傾き知覚に与える影響について確認した. 結果, 傾き角度の増加に伴い, 自身の傾き強度が増加した. また, 傾き所要時間が長いほど自身の傾き知覚に影響を与えることが分かった.

**キーワード** : 視覚誘導性自己運動感覚, 回転ベクシオン, 傾き知覚, 傾き角度, 傾き時間

### 1. はじめに

近年, ゲームやアトラクションをはじめとする, 様々な分野で仮想現実 (Virtual Reality; VR) 空間が注目されている. 特に HMD の普及により, VR 空間内を移動しながら体験する場面が多くなり, その移動感を向上させる取り組みが行われている. 例えば, トレッドミルなどの歩行装置[1]を併用することにより, 自由な移動を再現する方法がある. しかし, これらの試みは機器構成や制御が煩雑化し, 膨大なコストがかかる.

一方, 没入感を向上する簡便な方法として, 視覚誘導性自己運動感覚 (以下, ベクシオン) が着目されている. ベクシオンとは, 広範な視野領域に対して提示されたように運動する視覚刺激を観察することによって得られる運動感覚である. 例えば, 止まっている電車の中で反対側を走る電車を観察した際に, 自分の乗っている電車があたかも走っているかのように感じられる. つまり, 観察者の体に向かって背面方向に流れるような映像を観察するだけで, 観察者は正面方向に移動しているような感覚が得られる. また, ベクシオンはこのような直線的な運動だけでなく, 回転運動も表現することができる. 具体的には, 映像が観察者の正面方向を軸として回転する映像を提示した場合, 観察者はその回転とは逆方向に傾いた印象を覚える.

このようにベクシオンは実際の移動や運動を伴わずに

直線方向と回転方向いずれかの移動感の表現・再現が可能であり, この現象における発生傾向の分析やメカニズムの解明は, VR 空間での表現力や没入感の向上に大きな意義を持つ. 視覚刺激の直線運動や回転運動, 各々のベクシオンの発生傾向を分析する研究は, これまでに多く行われてきたが, 直線運動と回転運動の組み合わせが自身の運動感覚にどのような影響を与えるのかについてはまだわかっていないことも多い. そこで本研究では, この双方の刺激が運動感覚に与える影響について実験を通して確認することを目的とする. その第一歩として, 本稿では, まず回転方向に対する傾き知覚に着目して実験を行う.

回転方向に関する先行研究として, 根岸ら[2]は, 静止画像における左右方向の傾き量 (以下, 傾き角度) が, 観察者の知覚する重力方向に与える影響について分析を行い, 静止画像の傾き角度が $\pm 10 \sim 20$ 度の時に知覚される重力方向に最も影響を与えることを示している. また, 鶴原ら[3]は, 静止画像が左右方向に回転する様子を観察させ, その回転動作の所要時間が, 観察者が知覚する映像の傾き角度に影響しないことを確認している.

そこで, 本稿では先行研究をもとに, 360度の水平視角を有するドーム状の広視野ディスプレイにおいて, 回転方向の視覚刺激が傾き知覚にどのような影響を与えるかを確認する. 実験では, 先行研究をもとに, 視覚刺激の傾き角度とその回転動作の所要時間に着目し, それぞれが観察者自身の傾き知覚に与える影響を分析する.

まず実験 1 では, 視覚刺激の角度変化が自身の傾き知覚に与える影響を確認し, 実験 2 では視覚刺激の傾き所要時間が傾き知覚に与える影響を確認する. そして, これらの

Yuki MIURA, Yuma KOGA, Keisuke ARAI, Akihiro KONISHI,  
Satoshi HASHIGUCHI, Asako KIMURA, Fumihisa SHIBATA,  
and Hideyuki TAMURA, Ritsumeikan University

実験結果から、広視野ディスプレイを用いた回転方向の視覚刺激が傾き知覚に与える影響について分析する。

## 2. 実験環境

### 2.1 広視野ディスプレイシステム

本研究で使用する広視野ディスプレイシステムは、直径 7.0m、高さ 3.8m の小型ドームの壁面に、プロジェクタ 3 台を高さ 2.15m の位置に設置する事で、全天周への映像提示を実現している（図 1）。全天周に映像を提示するので、本システムにおける視覚刺激面として、最大視野角は水平方向に 360 度である。ただし、前面投影方式を採用しているため、プロジェクタから放射された直接光が被験者の目に直接当たり、眩しく感じられる可能性がある。そこで、玉置ら[4]の手法に倣い、実験を行う際はプロジェクタの座標系における被験者頭部の位置に黒色を投影する（すなわち、被験者が眩しくないように、顔の部分には光を放射しない）よう設定することで対処した。また、被験者は本システムの中心に配置した椅子に座らせた（図 2）。

### 2.2 視覚刺激

本稿では、提示する視覚刺激として、図 3 に示すような洞窟内に線路を敷いたトロッキの通路を模した CG 映像を用いた。洞窟の表面には土を模したテクスチャをマッピングし、等間隔に支柱が配されている。この CG 映像は、被験者の着座位置を中心に水平方向に傾けることができ、傾

き開始から終了までの傾き角度とそれに要する時間（以下、傾き所要時間）をそれぞれ独立して任意に設定することができる（図 4）。本実験では、傾き角度として 5 度、10 度、20 度、30 度、45 度の 5 種類を、傾き所要時間として 0.25s、0.5s、1.0s、2.0s、4.0s の 5 種類を提示する。実験では、この傾き角度と傾き所要時間を組み合わせた条件間で視覚刺激を提示する。

## 3. 実験 1：視覚刺激の傾き角度変化が自身の傾き知覚に与える影響の検証

### 3.1 実験目的

本実験では、見た目の角度変化が自身の傾き知覚に与える影響を確認する。

### 3.2 実験条件

実験 1 では、傾き角度 20 度、傾き所要時間 1.0s の視覚刺激を基準刺激とし、傾き角度 5 度、10 度、30 度、45 度の 4 種類の視覚刺激（傾き所要時間 1.0s）と比較・評価させた。評価は、一対比較に基づくマグニチュード推定法を用いて行った。被験者には、それぞれの視覚刺激に対して自身の傾き強度を、基準刺激を 10 とした時の倍数值で答えさせた（例えば、1.5 倍に感じたら 15 と回答させる）。なお、視覚刺激の提示は、被験者が自身の傾きを感じ、十分にその強度を把握するまで行った。

実験では、視覚刺激の 4 種類に対して 3 回ずつ、計 12 試行に対してランダムに提示を行った。また、視覚刺激

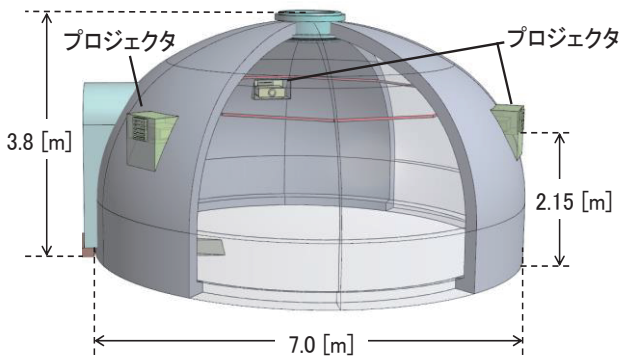


図 1 広視野ディスプレイシステムの外寸とプロジェクタの位置

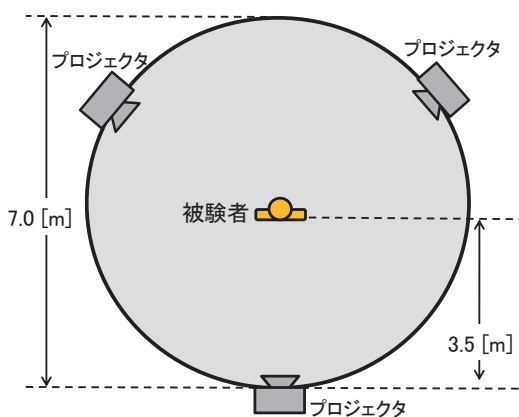


図 2 被験者の位置

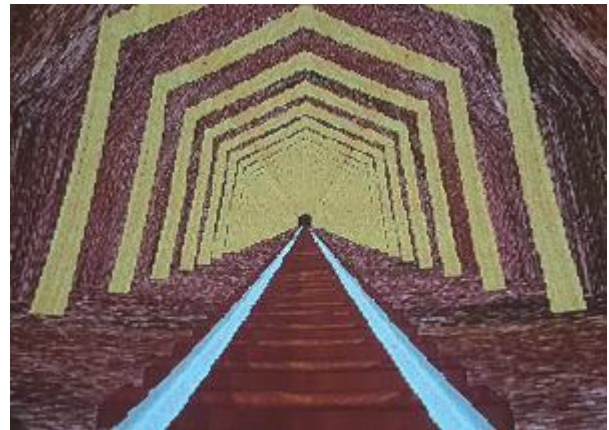


図 3 使用する視覚刺激



図 4 実験の様子（傾き角度 20 度）

の提示方向は、時計回りと反時計回りの 2 種類とし、別々に実験を行った。すなわち、被験者 1 人あたりの試行回数は  $12 \times 2 = 24$  試行である。

なお、それぞれの視覚刺激が提示された 2.0s 後に画面が暗転するよう設定した。ただし、被験者は本システムの中央に設置した椅子に背筋を伸ばした状態で座らせ(図 2)、つま先位置を固定することで姿勢を統一した。また、被験者には実験中、視覚刺激の中心に表示されている黒い点を見るよう指示した。被験者は正常視力(矯正含む)を有する成人男女 13 名である。

### 3.3 実験手順

実験は、時計回り・反時計回りの両方でそれぞれ以下の手順で実施した。

- (1) 基準刺激を提示する
- (2) 12 試行の視覚刺激からランダムに 1 つを提示する
- (3) 基準刺激に対しての倍数値を回答させる
- (4) (1)~(5)を全試行が終了するまで繰り返す
- (5) コメントを聴取する

ただし、疲れによる影響を排除するため、時計回り・反時計回りの試行の間には 1 分以上の休憩を設けた。

### 3.4 実験結果・考察

時計回りの視覚刺激を提示した場合の実験結果を図 5、反時計回りの視覚刺激を提示した場合の実験結果を図 6 に示す。横軸が視覚刺激の傾き角度を、縦軸が自身の傾き強度を示す。

図 5、図 6 より以下のことが分かる。

- (i) 角度が大きくなるほど、自身の傾き強度が増加する
  - (ii) 時計回りでは 5 度と 10 度以外の全組み合わせで有意差がある
  - (iii) 反時計回りでは全ての条件間で有意差がある
  - (iv) 時計回り・反時計回りで同様の傾向が見られる
- (i), (ii), (iii)の結果は、時計回り・反時計回りのいずれの場合でも、傾き角度の大きさが自身の傾き知覚に影響を与えていることを示す。

(iv)に関して、時計回りと反時計回りの角度毎で t 検定を行ったところ、全角度間で有意差は見られなかった ( $p > .05$ )。したがって、時計回り・反時計回りの間で顕著な違いが無いと言える。

実験後にコメントを聴取したところ、多くの被験者から、「傾き角度の増加に伴い、自身の傾きを強く知覚した」という意見が得られた。これは、(i)~(iii)と合致する傾向であり、マグニチュード推定法による評価とコメントが対応していることを裏付けるものとなった。一方で、13 名中 2 名から「傾き角度が大きいものより小さいほうが自身の傾きを強く知覚した」という意見もあった。先行研究において、畑田ら[5]は静止画像を提示した場合、自身の傾き強度が傾き角度 20 度を超えると減少すると述べている。本実験のように動的な視覚刺激を提示した場合でも、傾き 45 度を超えて提示した場合に傾き強度が減少する傾向があるため、先行研究と同様、傾き角度が一定以上大きくなる

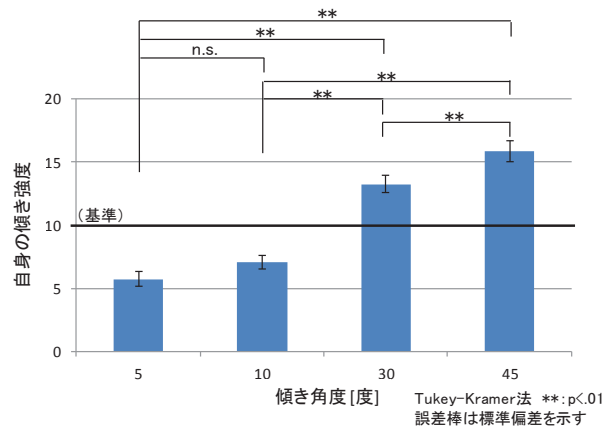


図 5 傾き角度に対する自身の傾き強度 (時計回り)

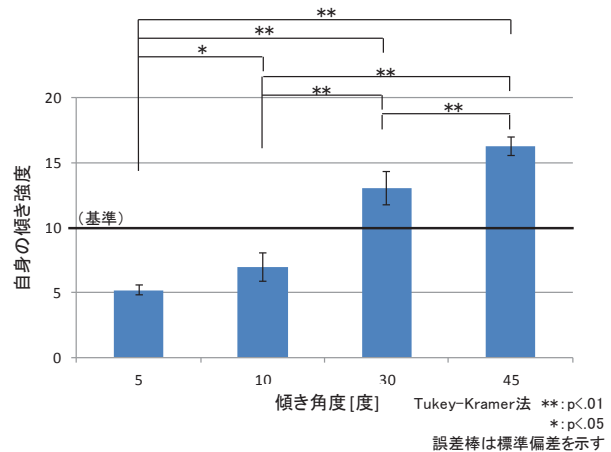


図 6 傾き角度に対する自身の傾き強度 (反時計回り)

と自身の傾き強度が減少すると考えられる。

## 4. 実験 2 : 視覚刺激の傾き所要時間が自身の傾き知覚に与える影響の検証

### 4.1 実験目的

実験 1 では、提示する視覚刺激の傾き所要時間を一定、傾き角度を変更した場合について、自身の傾き知覚に与える影響を確認した。実験 2 では、傾き所要時間(角速度)が自身の傾き知覚に与える影響を確認する。

### 4.2 実験条件

実験に用いる視覚刺激の傾き所要時間は、0.25s, 0.5s, 2.0s, 4.0s の 4 種類とし、傾き角度は全て 20 度とした。基準刺激としては、傾き 20 度、傾き所要時間 1.0s の視覚刺激を使用した。その他の条件は実験 1 と同様である。

### 4.3 実験手順

実験手順は実験 1 と同様である。

### 4.4 実験結果・考察

時計回りの視覚刺激を提示した場合の実験結果を図 7、反時計回りの視覚刺激を提示した場合の実験結果を図 8 に示す。横軸が視覚刺激の傾き所要時間を、縦軸が自身の傾き強度を示す。



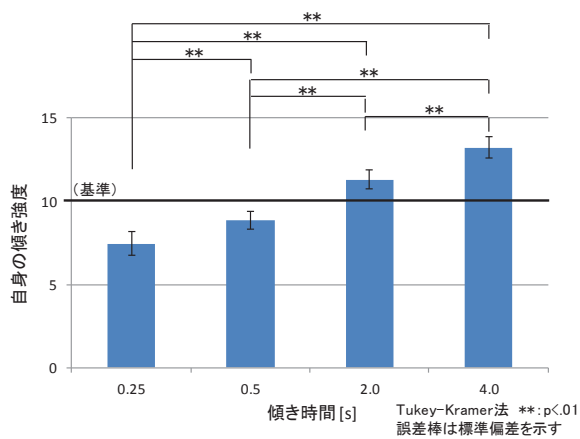


図7 傾き所要時間に対する自身の傾き強度（時計回り）

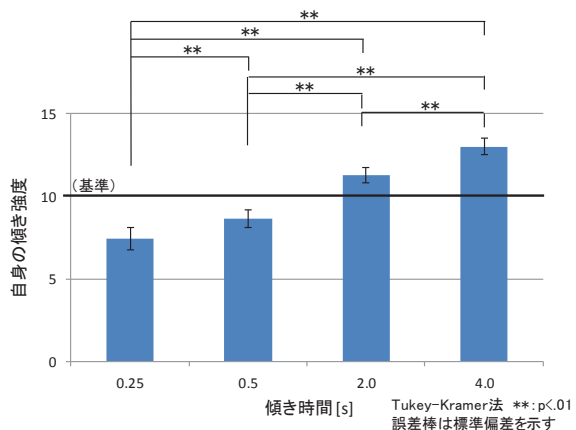


図8 傾き所要時間に対する自身の傾き強度（反時計回り）

図7, 図8より以下のことが分かる。

- (i) 傾き所要時間が長くなるほど（角速度が遅くなるほど）、自身の傾き強度が増加する
- (ii) 全ての条件間で有意差がある
- (iii) 時計回り・反時計回りで同様の傾向が見られる

(i), (ii)の結果は、時計回り・反時計回りによらず、傾き所要時間の長さ（角速度の遅さ）が自身の傾き知覚に影響を与えることを示す。先行研究[4]では、観察者が知覚する映像の傾きに対して、視覚刺激の傾き所要時間を変えても傾き知覚は変わらないとされていたが、この実験を通して、観察者自身の傾き知覚に傾き所要時間が影響することが分かった。

(iii)に関して、時計回りと反時計回りのそれぞれの傾き所要時間の条件毎にt検定を行ったところ、有意差は見られなかった ( $p>.05$ )。したがって、時計回り・反時計回りの間で顕著な違いは無いと言える。

コメントを聴取したところ、多くの被験者から、「傾き所要時間の増加に伴い、自身の傾きを強く知覚した」という意見が得られた。これは、(i)、(ii)と合致する傾向であり、マグニチュード推定法による評価とコメントが対応していることを裏付けるものである。また、自身の傾き強度に関して、「傾き所要時間が長いことによって視覚刺激に引き寄せられる感じがした」という意見も得られた。この

ことから、傾いた視覚刺激の変化過程を観測者に長い時間見せることが傾き知覚に効果的であると考えられる。

## 5. むすび

本稿では、没入型映像空間における左右方向の傾き知覚について分析を行った。

まず、実験1では見た目の角度変化に応じた自身の傾き知覚に与える影響を確認した。結果として、提示する視覚刺激の傾き角度が大きくなるにつれ、自身の傾き強度が増加する傾向が得られた。

実験2では、傾き所要時間（角速度）が自身の傾き知覚に与える影響を確認した。結果として、傾き所要時間が長いほど（角速度が遅いほど）自身の傾き強度が増加する傾向が得られた。

なお、実験1、実験2ともに、視覚刺激の提示方向を時計回りと反時計回りで分けて行ったが、どちらも同様の傾向を示した。また、先行研究をもとに、我々が所有する広視野ディスプレイにおいて実験を行い、回転方向の視覚刺激が観測者自身の傾き知覚に影響を与える事が分かった。

今後は、傾き角度と傾き所要時間以外のパラメータについても、傾き知覚へ与える影響を確認し、傾きに関する人間の知覚メカニズムの解明を行っていく。

## 謝辞

本研究の一部は、科研費・基盤研究(S)「複合現実型情報空間の表現力基盤強化と体系化」による。

## 参考文献

- [1] 福島寛之, 矢野博明, 野間春生, 岩田洋夫: “全方位移動ロボットを用いた歩行感覚呈示装置 CirculaFloor”, 日本VR学会論文誌, Vol. 11, No. 2, pp. 237 - 244, 2006.
- [2] 根岸一平, 金子寛彦, 水科晴樹: “重力方向知覚における視覚刺激の傾きと種類および身体の傾きの影響”, 光学, Vol. 38, No. 2, pp. 266 - 273, 2009.
- [3] 鶴原亜紀, 金子寛彦: “姿勢制御と知覚に対する広視野刺激の傾きの影響”, VISION, Vol. 18, No. 2, pp. 81 - 90, 2006.
- [4] 玉置純也, 村上和人: “眩しくないプロジェクタシステムの提案”, 情報処理学会研究報告, CVIM 研究会報告 2008, No. 36, pp. 43 - 46, 2008.
- [5] 畑田豊彦, 坂田春夫, 日下秀夫: “画面サイズによる方向感覚誘導効果 —大画面による臨場感の基礎実験—”, テレビジョン学会誌, Vol. 33, No. 5, pp. 407 - 413, 1979.