



没入型映像空間における傾き知覚の分析 (2)

～前進・後退時の左右方向の傾き知覚について～

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

- 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：本稿では、回転運動する視覚刺激を観察することによって自身が左右に傾いたように感じる運動感覚（回転ベクション）に着目し、回転運動に加えて、視覚刺激に前進・後退方向の移動を伴う場合に、傾き知覚がどのようにどのような影響を受けるか観察・分析する。具体的には、回転運動と前進・後退運動の両方を提示した場合に、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を確認した。その結果、静止時より、前進・後退方向の移動を伴う場合の方が自身の傾き強度は減少した。また、前進・後退の視覚刺激を提示した場合、傾き角度が大きいほど自身の傾き強度は増加したが、傾き所要時間は静止時ほど大きな影響は与えなかった。

キーワード：視覚誘導性自己運動感覚、回転ベクション、前進・後退、傾き知覚

1. はじめに

視覚刺激のみを用いて自身の移動感覚や傾き感覚を提示する視覚誘導性自己運動感覚（ベクション）の研究は、古くから行われており[1]、ベクションを効果的に取り入れることで、VR空間における表現力や没入感の向上に大いに役立つことが知られている。

ベクションは、観察者を中心に回転する映像を提示することで自身がその回転とは逆方向に傾いた印象を覚える回転ベクションと、観察者の体に向かって前面方向または背面方向に流れる映像を観察することで、逆方向に移動する印象を覚える直線ベクションの2つに分けられる。これまでに、回転ベクション、直線ベクション、各々の発生傾向を分析する研究は多く行われてきたが、回転ベクションと直線ベクション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、まだ分かっていないことが多い。

そこで我々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指している。その第一歩として、我々は先行研究において、回転方向に対する傾き知覚に着目し、視覚刺激の傾き量（以下、傾き角度）と傾きに要する時間（以下、傾き所要時間）が自身の傾き知覚に与える影響について分析を行った[2]。その結果、視

覚刺激の傾き角度が大きくなるほど自身の傾き強度は増加し、視覚刺激の傾き所要時間が長くなるほど自身の傾き強度は増加することが分かった。

次なるステップとして、本稿では直線ベクションが回転ベクションに与える影響について分析する。具体的には、視覚刺激が前進・後退している最中に、視覚刺激が回転した場合、自身の傾き知覚にどのような影響を与えるのかを実験を通して確認・分析する。実験1では、静止している状態で、または前進・後退方向に移動している途中で、先行研究[2]と同様に視覚刺激を回転させた場合について、自身の傾き知覚に与える影響を確認する。実験2、実験3では視覚刺激が前進・後退方向に移動している中で、視覚刺激が回転する場合に、その傾き角度、傾き所要時間変化が自身の傾き知覚に与える影響を確認する。また最後に、先行研究[2]の結果と比較し、議論する。

2. 実験環境

2.1 広視野ディスプレイシステム

本稿では先行研究[2]と同じ広視野ディスプレイシステムを使用する。また、被験者は本システムを中心に配置した椅子に座らせる。

2.2 視覚刺激

本稿でも、先行研究[2]と同様、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

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



図1 移動を併用した視覚刺激



図2 実験の様子（傾き角度 20 度）

件で視覚刺激を提示する。ただし、本実験では、視覚刺激が前進・後退方向に移動している、または静止している状態で、同時に視覚刺激の回転が行われる（図1, 図2）。

3. 実験1：視覚刺激の前進・後退が自身の傾き知覚に与える影響の検証

3.1 実験目的

実験1では、前進・後退方向の移動中に先行研究[2]同様、視覚刺激を回転させた場合に、自身の傾き知覚に与える影響を確認する。

3.2 実験条件

実験に用いる視覚刺激は、移動状態が静止（先行研究[2]と同様）、前進、後退の3種類とした。また、移動速度は30m/s、傾き角度は20度、傾き所要時間は1.0sとした。

ここで、先行研究[2]において、視覚刺激の傾き方向（時計回り、反時計回り）による自身の傾き知覚への影響が無いことを確認しているため、本実験では視覚刺激の傾き方向は時計回り方向のみとした。

実験はサーストンの一対比較法に基づいて行う。被験者には、視覚刺激を2つ提示し、どちらがより強く自身の傾き知覚に影響したか、すなわち、どちらがより自身が傾くように感じたのかを口頭で答えさせた。この方法であれば、被験者が3つ以上の選択肢で迷うことなく、簡便に心理尺度を構成することができる。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

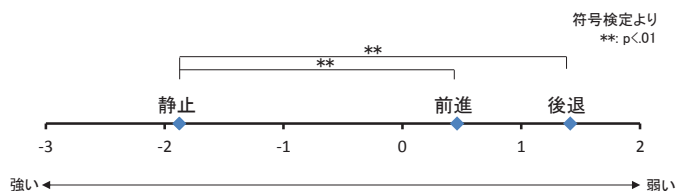


図3 自身の傾き知覚に対する心理尺度

再提示を行った。試行回数は1人あたり3試行（静止・前進、静止・後退、前進・後退）であり、ランダムに提示を行った。なお、それぞれの視覚刺激の提示終了2.0s後に、画面が暗転するよう設定した。

被験者に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た。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

実験手順は以下のとおりである。

- (1) 3つの視覚刺激の中から2つランダムに選出する
- (2) 1つ目の視覚刺激を被験者に提示する
- (3) 2つ目の視覚刺激を被験者に提示する
- (4) 1つ目と2つ目の試行を比較させ、どちらがより強く自分が傾くように感じたかを回答させる
- (5) 残りのパターンについて(1)~(4)を繰り返す
- (6) コメントを聴取する

3.4 実験結果・考察

実験結果を図3に示す。数直線は自身の傾き知覚に対する心理尺度を示しており、数値が小さくなるにつれて、被験者はより強い傾き知覚を得られたことを示す。図3より以下のことが分かる。

- (i) 静止の方が視覚刺激の前進・後退を提示するよりも強い自身の傾き知覚を得られる
- (ii) 静止と前進、静止と後退の間に有意水準1%で有意差が認められる
- (iii) 前進と後退の間に有意差がない（有意水準10%）
 - (i), (ii)の結果は、静止している場合と比べ、視覚刺激が前進・後退していると、自身の傾き知覚に与える影響が弱まることを示している。被験者からは、「視覚刺激の前進・後退により自分が移動していると感じると同時に、自身の傾き強度が減るように感じる」という意見が多く得られた。
 - (iii)の結果に関して、「前進と後退で大きな違いを感じない」という意見もあり、前進と後退の間には、自身の傾き知覚に関して被験者にとって顕著な違いが無い可能性が高い。

4. 実験2：視覚刺激の前進・後退に伴う傾き角度変化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、視覚刺激が前進・後退方向に移動した状態で、回転した場合、自身の傾き知覚に影響を与えるかどうか

かを確認した。実験 2 では、実験 1 の条件に加え、視覚刺激の傾き角度を変化させた場合に、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 2 では、前進・後退している状態で傾き角度 20 度、傾き所要時間 1.0s で視覚刺激が傾くものを基準刺激とし、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再提示を行った。

実験では、傾き角度 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、視覚刺激の前進・後退の 2 種類で別々に実験を行った。すなわち、被験者 1 人あたりの試行数は $12 \times 2 = 24$ 試行である。なお、それぞれの視覚刺激の提示終了 2.0s 後に、画面が暗転するように設定した。視覚刺激以外の条件は実験 1 と同様である。

4.3 実験手順

実験は、視覚刺激の前進・後退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值を回答させる
- (4) (1)~(3)を全試行数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、視覚刺激の前進・後退の試行の間には 1 分以上の休憩を設けた。

4.4 実験結果・考察

視覚刺激の前進を提示した場合の実験結果を図 4、視覚刺激の後退を提示した場合の実験結果を図 5 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 4、図 5 より以下のことが分かった。

- (i) 視覚刺激の傾き角度が大きくなるほど、自身の傾き強度が増加する
- (ii) 全ての条件間で有意差あり

(i)、(ii)の結果は、視覚刺激の前進・後退に関わらず、傾き角度の大きさが自身の傾き知覚に影響を与えたことを示す。また、45 度では自身の傾き強度で個人差が大きくなった。つまり、傾き角度が大きくなりすぎると傾き強度にばらつきが生じることが見て取れる。実験後、被験者の多くが、「傾き角度が大きくなるほど、自身の傾き強度が増大する」とコメントした。一方、「傾き角度が大きくなりすぎると自身の傾き強度が減少した」という意見もあった。後者に関して、提示される傾き角度が大きすぎると現実味がなくなるためであると考えられる。

5. 実験 3：視覚刺激の前進・後退に伴う傾き所要

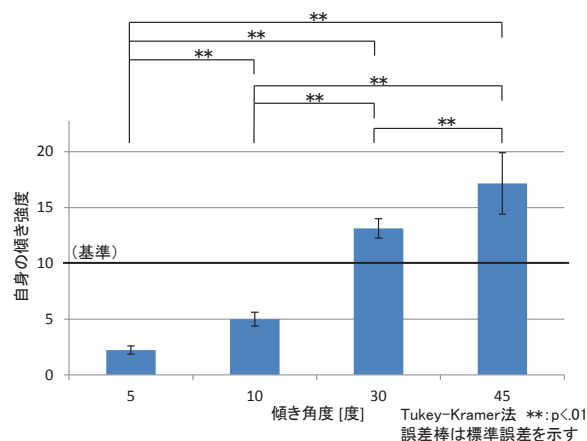


図 4 傾き角度に対する自身の傾き強度（前進）

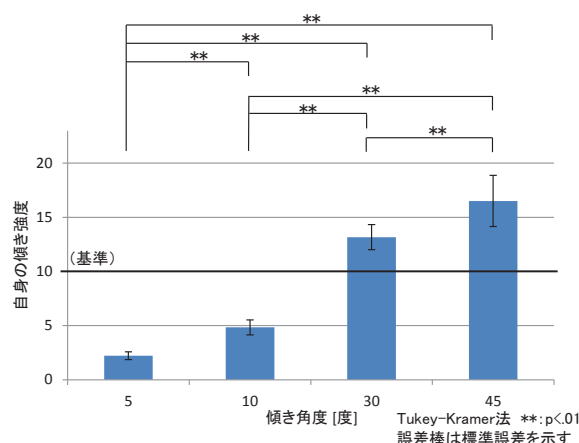


図 5 傾き角度に対する自身の傾き強度（後退）

時間変化が自身の傾き知覚に与える影響の検証

5.1 実験目的

実験 2 では、視覚刺激の前進・後退方向の移動と回転移動を同時に提示した場合に、視覚刺激の傾き角度が自身の傾き知覚に与える影響を確認した。実験 3 では、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を確認する。

5.2 実験条件

実験に用いる視覚刺激の傾き所要時間を 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。その他の条件は実験 2 と同様である。

5.3 実験手順

実験手順は実験 2 と同様である。

5.4 実験結果・考察

前進の視覚刺激を提示した場合の実験結果を図 6、後退の視覚刺激を提示した場合の実験結果を図 7 に示す。横軸が視覚刺激の傾き所要時間、縦軸が自身の傾き強度を示す。図 6、図 7 より以下のことが分かる。

- (i) 全ての条件間で基準よりも自身の傾き強度が下回る
 - (ii) 前進の視覚刺激を提示した場合、0.25s と 2.0s、2.0s と 4.0s の条件間で有意差あり
 - (iii) 後退の視覚刺激を提示した場合、0.25s と 0.5s、0.25s と 2.0s、2.0s と 4.0s の条件間で有意差あり
- (i)の結果は視覚刺激の前進・後退に関わらず、傾き所要

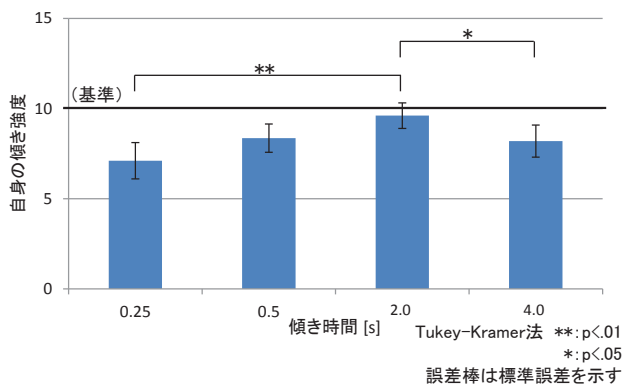


図6 傾き所要時間に対する自身の傾き強度（前進）

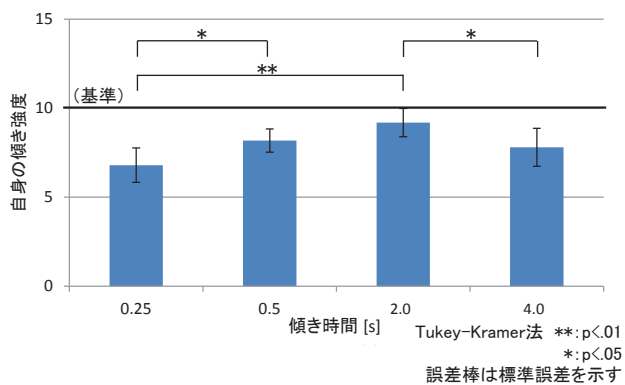


図7 傾き所要時間に対する自身の傾き強度（後退）

時間の長さが自身の傾き知覚に影響を与えたことを示す。また、全ての条件間で傾き強度を比較すると、2.0sで最も高い傾き強度を示した。しかし、全ての条件間で基準(1.0s)より傾き強度が下回っていたことから、今回の実験条件では、自身の傾き知覚に最も有効な傾き所要時間は1.0sという事が分かった。

(ii), (iii)の結果に関して、「傾き所要時間が長いと、視覚刺激がいつから傾き始めたのか分からない」「傾き所要時間が長いと、前進・後退による移動感を感じるが、自身の傾きはあまり感じない」という意見が多く聞かれた。実験の結果、傾き時間が4.0sの場合、自身の傾き強度に対して個人差が大きかった。視覚刺激の傾き所要時間が長すぎるとその傾きの変化に気づかず、自身の傾き強度が減少する傾向があった。一方、「傾き所要時間が短くなりすぎると自身の傾きを感じない」という意見もあった。これは提示する視覚刺激の傾き所要時間が短すぎると、視覚情報と自身の体性感覚での矛盾が生じるため、傾き知覚において体性感覚が優先されたのではないかと考えられる。すなわち、見た目の傾き所要時間が短くなり、現実味がなくなったため自身の傾きを視覚刺激から想起できなくなったのではないかと考えられる。

6. むすび

本稿では、没入型映像空間における前進・後退時の左右の傾き知覚について分析を行った。

まず、実験1では視覚刺激の前進・後退が自身の傾き知覚に与える影響の検証を行った。結果、視覚刺激の前進・

後退を提示すると静止時に比べ自身の傾き強度が減少する結果が得られた。また前進・後退の視覚刺激を提示した場合で自身の傾き強度を比較したが、顕著な違いは無かった。

実験2では、視覚刺激の前進・後退に伴う傾き角度の変化が自身の傾き知覚に与える影響の検証を行った。結果、前進・後退の視覚刺激を提示した場合、先行研究[2][3]と同様に視覚刺激の傾き角度が大きくなるほど自身の傾き強度が増加した。また、視覚刺激の提示条件として、前進と後退で分けて実験を行ったが、どちらも同様の傾向を示した。

実験3では、視覚刺激の前進・後退に伴う傾き所要時間変化が自身の傾き知覚に与える影響の検証を行った。結果、前進・後退の視覚刺激を提示した場合、傾き所要時間の長さが自身の傾き知覚の強度に影響を与えたが、全ての条件間で基準(1.0sで20度傾く場合)よりも知覚される傾き強度が下回り、先行研究[2]と異なる傾向となった。また、視覚刺激の提示条件として、前進と後退で分けて実験を行ったが、どちらも同様の傾向を示した。

以上の結果から、回転ベクションと直線ベクションを組み合わせることで、傾き知覚の強度が弱まる傾向が見られた。また、傾き角度が傾き知覚に与える影響は、直線ベクションが追加されてもあまり変わらなかった。一方、傾き所要時間(角速度)が傾き知覚に与える影響は、直線ベクションを同時に提示することで弱まる傾向にあった。

今後は、前進・後退という視覚刺激の直線運動が付加されることにより自身の傾き知覚への影響が弱まるメカニズムを解明するとともに、視覚刺激の傾き角度、傾き所要時間以外の要素でも検討を行う予定である。

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] 市川真澄, 渡邊悟: “直立姿勢に対する視覚情報の影響”, バイオメカニズム学会誌, Vol. 15, No. 2, pp. 59 - 64, 1991.
- [2] 三浦勇樹, 古賀宥摩, 新井啓介, 小西晃広, 橋口哲志, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: “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~”, 本大会, 2016.
- [3] 畑田豊彦, 坂田晴夫, 日下秀夫: “画像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.