

# 没入型映像空間での周辺視刺激で生じるリニアベクション効果の分析

小西 晃広<sup>†</sup> 橋口 哲志<sup>†</sup> 木村 朝子<sup>†</sup> 柴田 史久<sup>†</sup> 田村 秀行<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 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

<sup>‡</sup> 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

E-mail: konishi@rm.is.ritsumei.ac.jp

**あらまし** ベクションとは、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る。直線方向のベクションをリニアベクション (LV) と呼び、本稿ではこれに着目して周辺視領域との関係について検討を行った。全天周型ディスプレイを用いることで、広範な人間の視野領域全域に視覚刺激を提示して検討を行った。実験はサーストンの一対比較法に基づいて行い、視覚刺激はランダムドットとストライプの2種類とした。実験1では視覚刺激提示面の広さがLVの強度に与える影響を確認した。結果として、視覚刺激の提示面が広いほど強いLVが発生することを確認し、水平視野角180度以上の領域もLVの強度に影響を与えることを示唆した。実験2では中心視領域にマスク領域を設けることで、周辺視刺激が引き起こすLVについて分析を行った。結果、LVの強度はマスクの大きさが20度の時に最大となり、マスクが80度の時に最小となった。

**キーワード** 視覚誘導性自己運動感覚, ベクション, 周辺視領域, 没入型ディスプレイ, マスク領域

## Analysis of Linear Vection Effects Caused by Stimulating Peripheral Visual Field in Immersive Space

Akihiro KONISHI<sup>†</sup> Satoshi HASHIGUCHI<sup>†</sup> Asako KIMURA<sup>†</sup> Shibata FUMIHISA<sup>†</sup> and Hideyuki TAMURA<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

<sup>‡</sup> Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University

1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu-shi, Shiga, 525-8577 Japan

E-mail: konishi@rm.is.ritsumei.ac.jp

**Abstract** Vection is a visually induced illusion of self-motion caused by observing a visual stimulus. In this study, we analyze the linear vection (LV) caused by stimulating peripheral visual field. We used an immersive display to present a visual stimulus over the entire peripheral visual field. We conducted an experiment based on Thurstone's method. In experiment 1, we confirmed that the vection strength become stronger when the display size is wider. In experiment 2, we used a masked area on central visual field to analyze the strength of LV caused by peripheral visual field. Our results suggested that the LV strength would become stronger if the masked area was smaller; however, visual stimulus applied to the 0° masked area (without a mask) was weaker than that applied to the 20° masked area.

**Keywords** Vection, Self-motion, Peripheral visual field, Immersive display, Masked area

### 1. はじめに

視覚誘導性自己運動感覚 (ベクション) 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 [1]。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、あたかも自分の乗っている電車が走っているかのように感じられることがある。このようなベクションは、一般的には視覚系によって認知される運動感覚のことを言い、観察する視覚刺激の移動方向とは逆方向に運動が知覚される。すなわち、体に

向かって手前側に流れる視覚刺激を観察した場合、観察者は前進している運動感覚を得ることができる。このベクションは直線運動感覚 (Linear Vection; LV) と回転運動感覚 (Circular Vection; CV) の2つに分けられる [1]。

現在までのベクションの研究において、CVに対して視野との関係性について検討したものは数多く存在する。例えば、提示する視覚刺激の提示面積や領域との関係について検討したもの [2][3] や、視覚刺激の提示面を中心視領域と周辺視領域に分割してそれぞれの面

積毎に検討したもの[4]がある。一方で、LVにおける視野との関係性に対する検討は少なく、検討の余地が残る。そこで本稿では、LVに着目して検討を行う。

LVと視野との関係性について検討した従来研究[5]では、被験者の左右両側にディスプレイを配置し、その提示領域の広さを変えて分析を行い、周辺視領域における視覚刺激の提示領域が広いほどLVの強度が向上することを示している。また、被験者の前方にディスプレイを配置し、その中心視領域に円形のマスク領域を適用することによって周辺視領域のみが引き起こすLVについて分析を試みた先行研究もある[6][7]。しかしながら、これらの先行研究ではいずれも視覚刺激提示面の最大観察視野角が狭く、周辺視領域が与える影響の分析としての検討が十分であったとは言いがたい。人間の視野は水平方向に180度以上とされ[8]、周辺視領域は中心視領域と比較して運動の知覚に優位であることが知られている[9]。このように、周辺視領域とベクシオンの強度について議論する上では、広範な視野領域全域に視覚刺激を提示することが重要である。

そこで、本稿では視覚刺激提示面の水平方向の最大観察視野角を確保するべく、全天周型ディスプレイX-Media Galaxy/Dome Typeを用いて実験を行う。

## 2. 実験環境

### 2.1. X-Media Galaxy/Dome Type

X-Media Galaxy/Dome Type (以降、X-Dome)とは、視聴覚併用MR体験空間システムを全天周化したものである[10]。本稿ではこのX-Domeを全天周型ディスプレイとして利用する。

X-Domeでは、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、X-Dome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、X-Domeは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る可能性がある。また、被験者の位置によって

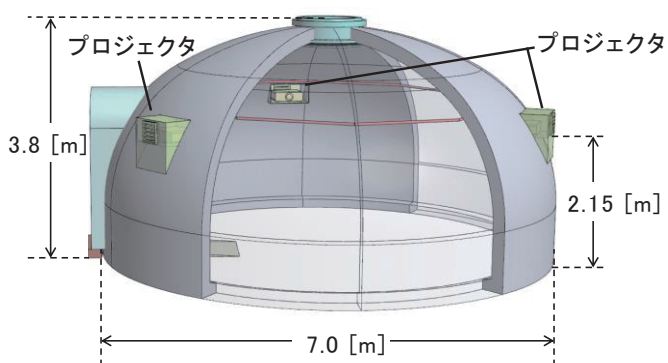


図1 X-Domeの外寸とプロジェクタの位置

は被験者自身の影が壁面に投影されてしまう。そこで、実験を行う際は被験者の影が映り込まないように被験者の位置に配慮し、プロジェクタの座標系における被験者頭部の位置には黒色を投影する(被験者がまぶしくないように、被験者の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。

### 2.2. X-Domeにおける視覚刺激の生成

視覚刺激の生成方法は先行研究[7][11]に倣った。具体的には、内側にテクスチャを投影した十分に長い円筒形のCGオブジェクトを、VR空間内で平行移動させる。この時、VR空間内の任意の点における3方向(水平方向に120度ずつ)の観察映像をそれぞれのプロジェクタからX-Domeの壁面に投影することで、体験者の全天周への視覚刺激提示を実現した。

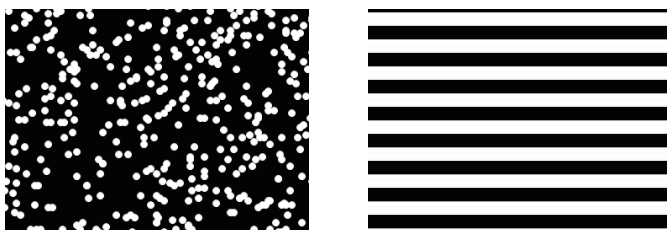
ここで、視覚刺激の消失点は、X-Domeの床面から高さ1.6mの位置(被験者の目線の高さ)とし、視線方向を固定するための注視点を設けた。

本稿では、円筒形のCGオブジェクトの直径は6.0mとし、移動方向は被験者に対して背面方向、移動速度は4.0m/sとした。テクスチャはランダムドットまたはストライプの2種類を用いた(図2)。ただし、ランダムドットは黒地に白色の円形ドットとし、その密度は20%とした。また、ドットの大きさ(直径)は視野角換算で2度とした。ストライプの幅は白黒それぞれ1.6mとした。

### 2.3. マスク領域

周辺視領域がLVの強度に与える影響を分析するにあたって、視覚刺激を周辺視領域のみに提示する必要がある。そこで、視覚刺激を提示しない領域(以降、マスク領域)を中心視領域に設けた。実現方法として、視覚刺激をVR空間で生成していることを利用し、同VR空間内にマスク用のCGオブジェクトを配置した。具体的には、被験者のVR空間内における座標から前方に一定の距離だけ離して平面の円形オブジェクトを固定することで、中心視領域のマスクを適用したLVの視覚刺激を生成することができる。

なお、中心視領域のマスク領域の作成に用いた円形オブジェクトは、その中心が視覚刺激の消失点と同じ高さ(1.6m)になるように配置した。また、円の大きさ(直径)は視野角換算で0度(マスクなし)、20度、



(a) ランダムドット

(b) ストライプ

図2 利用したテクスチャ

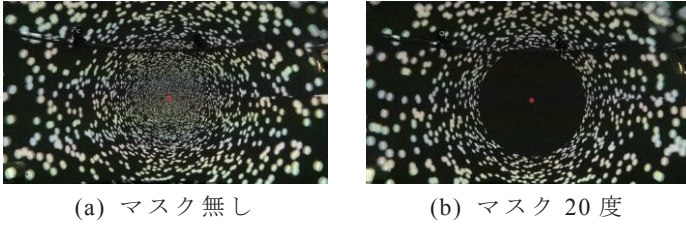


図 3 X-Dome 壁面に投影した視覚刺激 (ランダムドット)

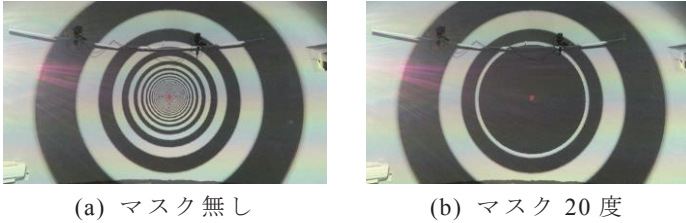


図 4 X-Dome 壁面に投影した視覚刺激 (ストライプ)

40 度, 60 度, 80 度とした (図 3, 図 4).

### 3. 実験 1 : 観察視野角が LV 強度に与える影響の検証

#### 3.1. 実験目的

先行研究[7][11]では, 被験者の観察視野角が広いほど, LV の強度が向上することを示している. ただし, これらの先行研究では一般的な平面ディスプレイや被験者の周りを覆うように平面ディスプレイを組み合わせたものを利用しており, X-Dome のような提示面そのものが湾曲している場合についての検討ではなかった. また, これらの先行研究では水平方向 180 度を超える周辺視領域全域に視覚刺激を提示した場合に LV の強度にどのような影響を与えるか検討されていなかった.

そこで本実験では, 提示面が湾曲している X-Dome において, 平面状のディスプレイによって得られた知見と同様の傾向が得られるかどうかの確認を行う. また, 水平方向 360 度全域に視覚刺激を提示した場合についての検討を行うことで, 180 度を超える視野領域が LV において影響を与えるかを検証する.

#### 3.2. 実験条件・手順

##### 【実験条件】

図 5 に示すように, 被験者の位置は X-Dome の壁面から 0.55m とし, 被験者数は 10 名 (成人男性 9 名, 成人女性 1 名) とした. 実験パターンとしては, 視覚刺激としてストライプとランダムドットの 2 種類に加え, 視覚刺激提示面の広さとして, 視野角に換算して水平方向に 60 度, 120 度, 180 度, 360 度の 4 種類の合計 8 パターンとした (表 1).

##### 【実験手順】

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, どちらがより強いベクションを知覚したか, すなわち, どちらがより強

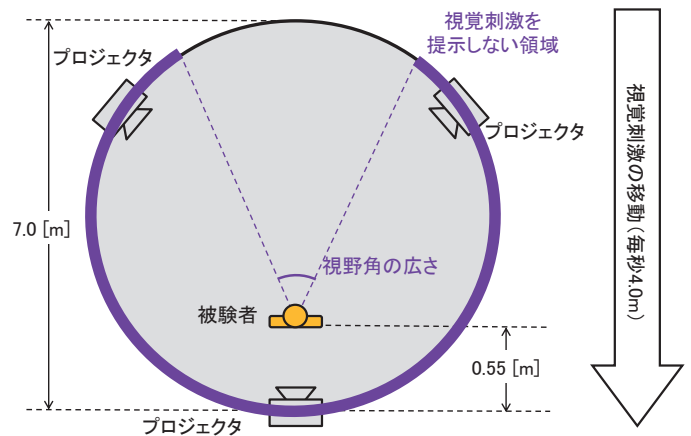


図 5 被験者の位置と視野角制限のイメージ

表 1 実験 1 における視覚刺激のパターン

視覚刺激の種類	視野角の広さ (水平方向)
ランダムドット	60 度
	120 度
	180 度
	360 度 (視野角制限無し)
ストライプ	60 度
	120 度
	180 度
	360 度 (視野角制限無し)

い移動感が得られたかを回答させる. 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 LV を感じ, 十分にその強度を把握するまで続けた. 試行回数は被験者 1 人あたり  $sC_2=28$  試行である.

具体的な実験手順を以下に示す.

- (1) 表 1 の実験パターンからランダムに 2 つ選出する
  - (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 回目と 2 回目の試行を比較させ, どちらがより強い移動感が得られたかを回答させる
  - (5) 疲労による影響を排除するために十分なインターバルを設ける
  - (6) 残りの組み合わせについて(1)~(5)を繰り返す
- なお, (5)のインターバルとは別に, 9 試行毎に 1 分以上の休憩時間を設けた.

#### 3.3. 実験結果・考察

実験結果を図 6 に示す. 2 本の数直線は, ランダムドットとストライプの視覚刺激におけるそれぞれの LV の強度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, 被験者はより強い移動感が得られたことを示す.

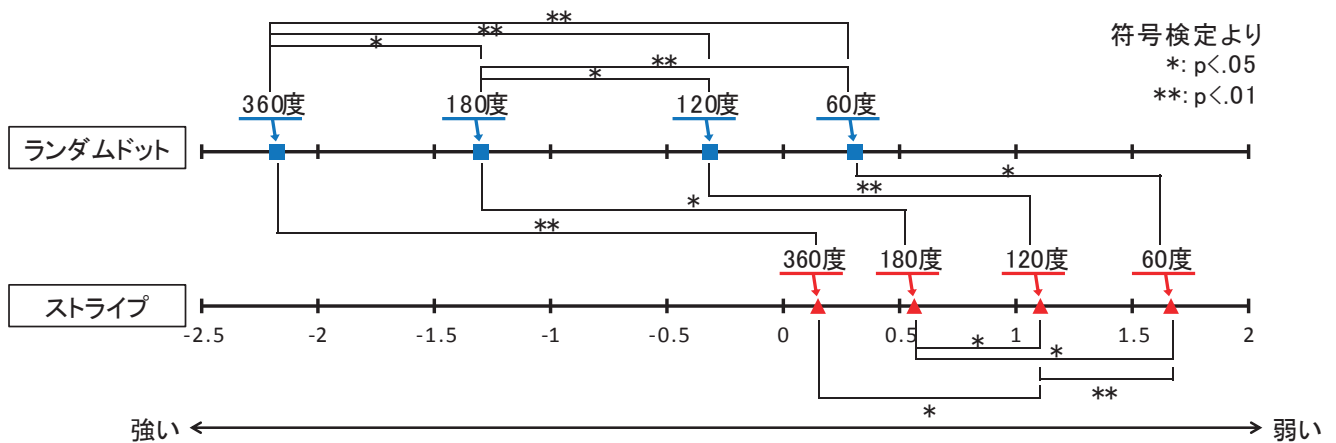


図 6 実験 1 の結果：水平視野角の広さと LV 強度の関係（LV 強度に対する心理尺度）

図より以下のことが分かる。

- (i) 総じて、ランダムドットの方がストライプよりも強い LV が発生する
- (ii) 視覚刺激の種類を問わず、観察視野角が広くなるにつれて LV の強度は向上する
- (iii) ランダムドットでは 360 度（視野角制限無し）と視野角 180 度の間に有意水準 5% で有意差が認められる
- (iv) ストライプでは 360 度（視野角制限無し）と視野角 180 度の間に有意水準 5% で有意差が認められない

(i)の結果は、ディスプレイの視野角の広さに関わらず利用するテクスチャによって運動感の強さが異なることを示している。ここで、人間は視覚刺激によって提示されている奥行き情報よりも、奥側に視覚刺激を知覚した場合に、より強く LV を知覚することが知られている[12]。つまり、ランダムドットの方が比較的ストライプよりも奥側に知覚されたため LV の強度に差が出たと考えられる。

(ii)の結果では、ランダムドット、ストライプを問わず、同じ傾向を示しており、先行研究[7][11]と同様の傾向を示している。つまり、X-Dome のように、視覚刺激提示面自体が湾曲している様な場合においても視野領域が LV の強度に与える影響の実験が問題なく行える事が分かる。

特に、(iii)の結果は視覚刺激を視野角 180 度に提示する場合と 360 度に提示する場合の間に被験者にとって明確な差があるという事を示している。言い換えると、水平視野角 180 度以上の領域も LV の知覚において利用されていることが分かった。すなわち、周辺視刺激が LV の強度に与える影響を分析する上で、没入型ディスプレイを用いた検討が重要であると言える。ただし、(iv)の結果では(iii)で見られた有意差が認められず、これは被験者にとって必ずしも明確な差があっ

たわけでは無いことを示している。すなわち、視覚刺激の種類によっては 180 度以上の視野領域が LV の強度に与える影響が少なくなることを示しており、周辺視刺激が LV 強度に与える影響を分析する上では複数の視覚刺激の種類（テクスチャ）による検討を行う必要があることを示している。

これらをまとめると、実験 1 では総じて先行研究に合致した傾向が得られており、かつ、視野角 180 度以上の視野領域に視覚刺激を提示する必要性と、複数の視覚刺激の種類で検討を行う必要性について示唆する結果となった。

## 4. 実験 2：周辺視刺激が LV 強度に与える影響の分析

### 4.1. 実験目的

先行研究[6][7]において、中心視領域を欠落させた場合における LV の強度への検討は実施されている。しかし、それぞれで利用された視覚刺激提示面は人間の視野を十分に覆うものではなかった。実験 1 で示した通り、水平視野角 180 度以上の視野領域における視覚刺激の提示が LV の強度に影響を与えることから、周辺視刺激が LV の強度に与える影響について分析する上で、広範な視野領域全域に視覚刺激の提示を行う事は重要であると言える。

そこで、X-Dome を用いて先行研究と同様に、中心視領域にマスク領域を適用し、その大きさを変えることによって、周辺視刺激が LV の強度に与える影響について分析する。

### 4.2. 実験条件・手順

#### 【実験条件】

被験者の位置は実験 1 と同様、X-Dome の壁面から 0.55m の位置とした（図 7）。実験 2 では、視覚刺激としてストライプとランダムドットの 2 種類に加え、中心視領域のマスク領域として、視野角に換算して 0 度（マスク無し）、20 度、40 度、60 度、80 度の 5 種類の

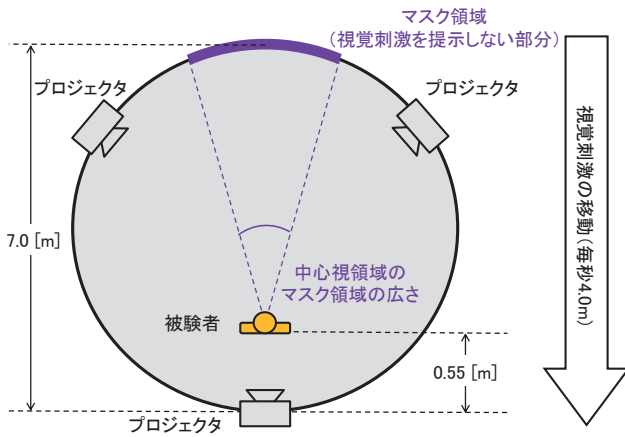


図7 被験者の位置と中心視マスクのイメージ

合計 10 パターンとした (表 2)。被験者は 10 名 (成人男性 8 名, 成人女性 2 名) とした。

【実験手順】

実験 1 と同様に, サーストンの一対比較法に基づいて行う。試行回数は被験者 1 人あたり  ${}_{10}C_2=45$  試行である。

- (1) 表 2 の実験パターンからランダムに 2 つ選出する
- (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 回目と 2 回目の試行を比較させ, どちらがより強い移動感を得られたかを回答させる
- (5) 疲労による影響を排除するために十分なインターバルを設ける
- (6) 残りの組み合わせについて(1)~(5)を繰り返す

なお, (5)のインターバルとは別に, 9 試行毎に 1 分以上の休憩時間を設けた。

4.3. 実験結果・考察

実験結果を図 8 に示す。2 本の数直線は, ランダムドットとストライプの視覚刺激におけるそれぞれの LV の強度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, 被験者はより強い移動感を得られたことを示す。

表 2 実験 2 における視覚刺激のパターン

視覚刺激の種類	中心視マスクの広さ
ランダムドット	0 度 (マスク領域なし)
	20 度
	40 度
	60 度
	80 度
ストライプ	0 度 (マスク領域なし)
	20 度
	40 度
	60 度
	80 度

図より, 以下のことが分かる。

- (i) 総じて, ランダムドットの方がストライプよりも強い LV が発生する
- (ii) ランダムドット, ストライプを問わず, 中心視マスクの広さが 20 度の場合に, 0 度 (中心視マスク無し) の場合よりも強い LV が発生する
- (iii) ランダムドット, ストライプを問わず, 80 度の場合に, LV の強度は最も弱くなる
- (iv) ランダムドットの場合, 20 度と 0 度 (中心視マスク無し) の間, 20 度と 60 度の間, 20 度と 80 度の間有意水準 10% で有意差が認められる
- (v) ストライプの場合, 0 度, 20 度, 40 度, 60 度のいずれの間にも有意水準 10% で有意差が認められない

(i)の結果から, マスク領域の有無や大きさに関わらず, 実験 1 と同様にランダムドットの方がストライプと比較して強い LV が発生することが分かる。

(ii)の結果は, 中心視領域にマスク領域を設けた場合に, マスク領域を適用しない場合よりも強い LV が発生する場面があることを示している。

ここで, 中心視領域にマスク領域を設けることで, 視覚刺激の見かけ上の距離が遠くなり, 知覚される速度感が向上することが知られている[7]。また, 提示す

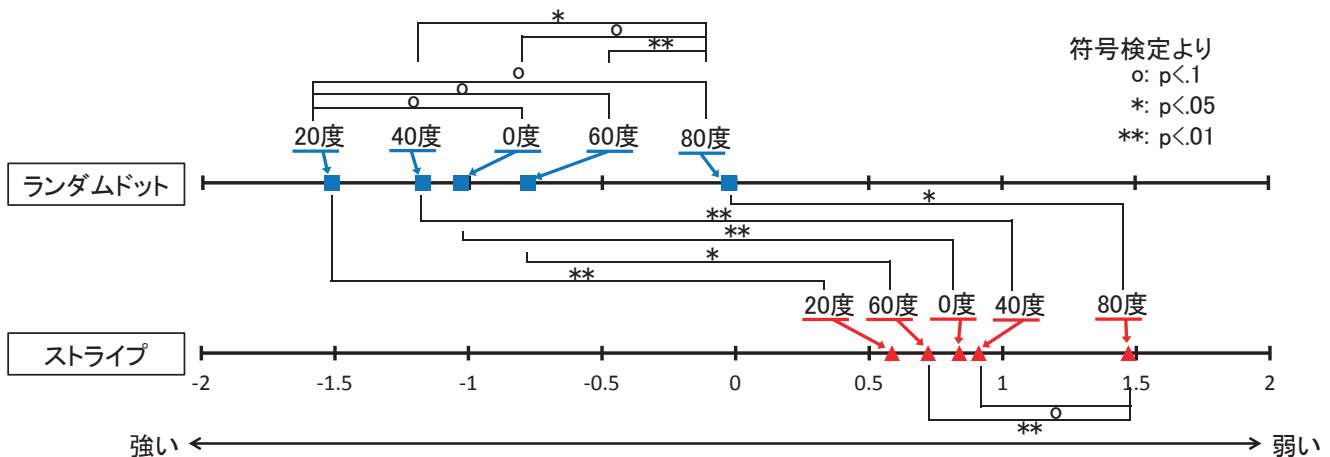


図 8 実験 2 の結果 : 中心視マスクの広さと LV 強度の関係 (LV 強度に対する心理尺度)

る視覚刺激の速度が向上すると、知覚される移動感、すなわちベクションの強度が向上することも知られている[4]。これは、周辺視領域は変化に敏感、すなわち物体の運動知覚に優位である[9]ことから頷ける。したがって、中心視領域が欠落したことによって視覚刺激の運動が見かけ上、速く感じられる様になり、結果的に自己運動感覚の強度が向上したのではないかと考えられる。

一方で、(iii)の結果はマスク領域が広すぎる場合には、LVの強度が減少することを示している。特に、一部にはランダムドット、ストライプに関わらず有意水準1%で有意な差が認められ、中心視領域に80度以上のマスク領域を設けた場合には顕著にLVの強度が減少する傾向があると言える。

これは、中心視領域がマスクされることによって、知覚される速度感が向上する一方で、視覚刺激の消失点による距離手がかりが無くなり、自己運動の想起が困難になったことが原因だと考えられる。

(ii), (iii)をまとめると、中心視マスクが20度程度まではLVの強度が向上するものの、更に広くなるにつれて徐々に移動感が減少する傾向を示した。

ただし、(iv), (v)の結果より、ランダムドットの場合は中心視領域にマスクを適用した場合にLVの強度が向上するという(ii)の結果が有意水準10%の有意差として現れている一方で、ストライプの場合にはそれほど明確な差では無かったと言えることには留意すべきである。ここで、(i)と(v)の結果を合わせて考えると、中心視領域のマスク領域の違いによる強度を比較する上で、ストライプが引き起こすLVの強度が弱すぎる可能性も考えられる。つまり、中心視領域にマスク領域を適用することによって発生する強度への影響が、視覚刺激の種類を変更することによる影響よりも比較弱いことを示唆する結果となった。

## 5. まとめ

本稿では、没入型ディスプレイを用いて周辺視刺激がLVに与える影響について分析した。

まず、実験1では視覚刺激提示面の広さがLVの強度に与える影響について検証を行った。結果、視覚刺激の提示面が広いほどLVの強度は向上し、先行研究に合致した結果が得られた。また、視覚刺激を水平視野角180度以上の領域を含めて提示した場合に、その領域を含めずに提示した場合と比べてLVの強度が向上する場合があることを示した。なお、視覚刺激の条件としてランダムドットとストライプの2種類を利用したが、それぞれに傾向の違いは無かった。ただし、ストライプよりもランダムドットの方が強いLVを知覚することを示した。

実験2では、視覚刺激提示面の中心視領域にマスク領域を適用し、周辺視刺激がLVの強度に与える影響について分析を行った。結果として、中心視領域に視野角換算で20度のマスク領域を適用すると、マスク領域を適用しない場合と比較してLVの強度が向上する傾向にあることを示した。一方で、中心視領域に視野角換算で80度のマスク領域を適用すると、LVの強度が減少する結果が得られた。

## 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] M.H. Fischer and A.E. Kornmüller: "Optokinetisch ausgelöste bewegungswahrnehmung und optokinetischer nystagmus," *Journal für Psychologie und Neurologie*, Vol. 41, pp. 273 - 308, 1930.
- [2] I.P. Howard and T. Heckmann: "Circular vection as a function of the relative sizes, distances, and positions of two competing visual displays," *Perception*, Vol. 18, No. 5, pp. 657 - 665, 1989.
- [3] 大西仁, 望月要, 杉本裕二: "重心動揺を指標としたサラウンド・ディスプレイの視覚的効果の測定", 電子情報通信学会論文誌, Vol. J86-B, No. 1, pp. 45 - 56, 2003.
- [4] T. Brandt, J. Dichgans, and E. Koenig: "Differential effects of central versus peripheral vision on egocentric and exocentric motion perception," *Experimental Brain Research*, Vol. 16, pp. 476 - 491, 1973.
- [5] G. Johansson: "Studies on visual perception of locomotion," *Perception*, Vol. 6, No. 4, pp. 365 - 376, 1977.
- [6] 岡野裕, 雑賀慶彦, 橋本悠希, 野嶋琢也, 梶本裕之: "速度感覚増強のための周辺視野への刺激提示手法の検討", 情報処理学会研究報告, HCI研究会報告2008, No. 11, pp. 145 - 150, 2008.
- [7] 瀬川かおり, 氏家弘裕, 岡嶋克典, 斎田真也: "オブジェカルフローによる自己移動速度知覚に距離手がかりが及ぼす影響", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 8, No. 1, pp. 111 - 117, 2003.
- [8] 増田千尋: "3次元ディスプレイ(ディスプレイ技術シリーズ)", 産業図書, p. 49, 1990.
- [9] 山岸典子, S.J. Anderson: "周辺視野の位置知覚における色情報と運動情報の役割", 信学技報, HIP, Vol. 98, No. 397, pp. 23 - 30, 1998.
- [10] 鈴木翔伍, 杉山孝之, 宮井貴史, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: "全天周型視聴覚複合現実体験空間とその基幹ソフトウェア", 信学技報, PRMU, Vol. 111, No. 499, pp. 135 - 140, 2012.
- [11] 柳在鎬, 橋本直己, 佐藤誠: "没入型ディスプレイにおける視覚誘導自己運動の分析", 信学技報, MVE, Vol. 103, No. 107, pp. 63 - 68, 2003.
- [12] L. Telford, J. Spratley and B.J. Frost: "Linear vection in the central visual field facilitated by kinetic depth cues," *Perception*, Vol. 21, No. 3, pp. 337 - 349, 1992.