



周辺視野領域における視覚刺激の空間周波数が 落下感にもたらす影響の検討

Study on Effect of Spatial Frequency of Visual Stimuli
from Peripheral Visual Field on Falling Sensation

岩崎果帆¹⁾, 坂本雄児¹⁾

Kaho IWASAKI, and Yuji SAKAMOTO

1) 北海道大学大学院 情報科学院 (〒060-0814 札幌市北区北 14 条西 9 丁目)

概要: 本研究では加速感のあるベクション刺激を用いて, 落下感の強度と周辺視野領域における刺激の空間周波数の関連性を検証した. VR 空間に配置した球体の中を重力方向に加速しながら移動する映像を被験者に提示した. その際, 被験者の中心視野領域の球数を固定し, 周辺視野領域の空間周波数を変化させ, 落下感の強度を測定した. 結果として, 周辺視野領域における空間周波数の増加に伴い落下感が増幅する傾向があることが確認できた.

キーワード: 落下感, VR, ベクション, 空間周波数, 周辺視野

1. はじめに

近年, 頭部装着型ディスプレイ (Head Mounted Display: HMD) を用いて仮想現実 (Virtual Reality: VR) を提供するコンテンツが増加している. VR 体験は, 実際に行うには危険であったり手間がかかったりする体験を, 比較的安価で簡単に行うことができるという利点がある. 例えばバンジージャンプやスカイダイビングなどに代表される落下体験を VR コンテンツ内で疑似的かつ安全に行うことが可能である. しかし HMD でどのような映像を提示すれば落下感を引き起こすことができるのか, 明確な条件は明らかになっておらず, 現状の HMD の映像だけでは臨場感のある落下体験を提供することは難しい. 落下感を引き起こしている視覚的メカニズムが解明すれば, VR 上の疑似落下体験の臨場感や没入感の向上につながる.

本研究では, 視覚誘導性自己運動感覚 (ベクション) に着目し, ベクションが生じやすいとされている条件が落下感にも適応されるのかを考察した. ベクションとはある一様な視覚的運動刺激を観察した際に自身の身体が動いているように感じる運動感覚のことである [1]. ベクションに影響を与える要素の 1 つとして視覚刺激の空間周波数が挙げられる. Sauvan らはベクションを効果的に引き起こすには低空間周波数が効果的であることを確認している [2]. また, Palmisano らは, 周辺視野領域においては低空間周波数の視覚刺激が, 中心視野領域では高空間周波数の視覚刺激がベクションの誘起に効果的であるという結果を示している [3]. その一方で, 奥川らは空間周波数と落下感の関係性について検討しており, 落下感と単なる移動感が区別可能であることを確認した上で, 高い空間周波数では落下感をより強く知覚することを確認している [4]. このことは, 落下

感を引き起こす刺激の性質が, ベクションを引き起こす刺激の性質と異なっている可能性を示唆している. また我々の研究では, 周辺視野領域からの刺激が落下感に影響を与えている可能性があることを確認している [5].

そこで本稿では現在検討が不十分である周辺視野領域における空間周波数と落下感の関係性について確認し考察を行うことで, 落下感を引き起こしている要因の 1 つを解明することを目指す. また本稿での落下感とは, 奥川らの先行研究 [4] を参考に, 単なる移動感ではなく「重力方向に加速しながら落下している感覚」とした.

2. 実験環境

2.1 概要

周辺視野領域における視覚刺激の空間周波数と落下感の関係性を調べるため, 被験者には HMD を装着させ空間周波数が異なる映像を観察させた. 視覚刺激提示デバイスとして Meta Quest 2 を採用した. Meta Quest 2 の視野角は水平方向に 97°, 垂直方向に 93° である. 映像観察時の姿勢は落下感を生じやすい伏臥位とした [4]. 実験の様子を図 1 に示す.



図 1: 実験中の様子

2.2 実験システム

被験者が観察するコンテンツは Unity で制作した。被験者は、定められた領域内 ($x=-500\sim 500\text{m}$, $y=-500\sim 500\text{m}$, $z=-1000\sim 0\text{m}$) にランダムに配置された球群の中を $-z$ 軸方向に移動する。この時の $-z$ 軸方向は実世界での重力方向下向きになるように設定した。被験者の初期位置は $x=0$, $y=0$, $z=0$ とし、常に $-z$ 軸方向を向いていた。また、被験者の z 座標が球の z 座標を下回った際、球は定められた面上 ($x=-500\sim 500\text{m}$, $y=-500\sim 500\text{m}$, $z=\text{被験者の } z \text{ 座標}-1000\text{m}$) に瞬時に移動するため、被験者は常に球群に向かって移動しているように見えていた。コンテンツの体験時間は待機時間 6 秒、実際の移動時間 25 秒の計 31 秒であった。空間周波数の条件を変更するために球の出現個数を 75 個、150 個、300 個、600 個、1200 個の 5 種類用意し、視点から刺激を観察した際の刺激の画面占有率を揃えるためそれぞれの球の半径を 10m, $5\sqrt{2}\text{m}$, 5m, $2.5\sqrt{2}\text{m}$, 2.5m とした。ここで定めた単位 m は、実際の長さの単位 m とは異なる仮想空間上の単位であり、本稿では他の長さと比較する目的のみで明記した。

また、被験者の z 軸方向の加速度は -30ms^{-2} と設定し、初速は 0 とした。本実験では中心視野の視野角を 20° までとしており、実験中は被験者の視点が移動しないよう注視点を設けた。

3. 実験 1：空間周波数と落下感の関係について (視野の区別のない刺激)

周辺視野領域における空間周波数の変化が落下感にどのような影響を及ぼしているのか検討するために、まずは中心視野と周辺視野を区別せずに空間周波数を揃えて実験を行った。被験者数は色覚に問題のない 20 代の男女 15 名であった。

3.1 実験条件

5 種類の空間周波数の視覚刺激を用意して落下感の比較実験を行った。それぞれのコンテンツの条件を表 1 に示す。空間周波数は 1a が最も低く 1e が最も高い。また、実際に観察する画面を図 2 に示す。落下感の評価は、1c のコンテンツを基準の映像としたマグニチュード推定法を用いた。具体的には 1c のコンテンツの落下感を 100 とした際に、1a, 1b, 1d, 1e の落下感がどの程度に感じたかを回答させた (例えば落下感が 2 倍に感じた場合は 200 と回答させる)。事前に評価手法を被験者に説明し、映像観察後に口頭で回答させた。また、全ての刺激観察時において、落下感が生じたタイミングでコントローラーのボタンを押してもらい、その時間を記録した。この時間は潜時と呼ばれており、ベクシヨンの強度と相関があることが分かっている [6]。

3.2 実験手順

コントローラーの操作やアンケートの回答方法に慣れさせるため、実験開始前に十分な練習時間を設けた。以下実験手順である。

表 1: 実験 1 で提示した 5 種類の刺激のパラメータ

刺激の種類	1a	1b	1c	1d	1e
球の半径 [m]	10	$5\sqrt{2}$	5	$2.5\sqrt{2}$	2.5
球の個数 [個]	75	150	300	600	1200

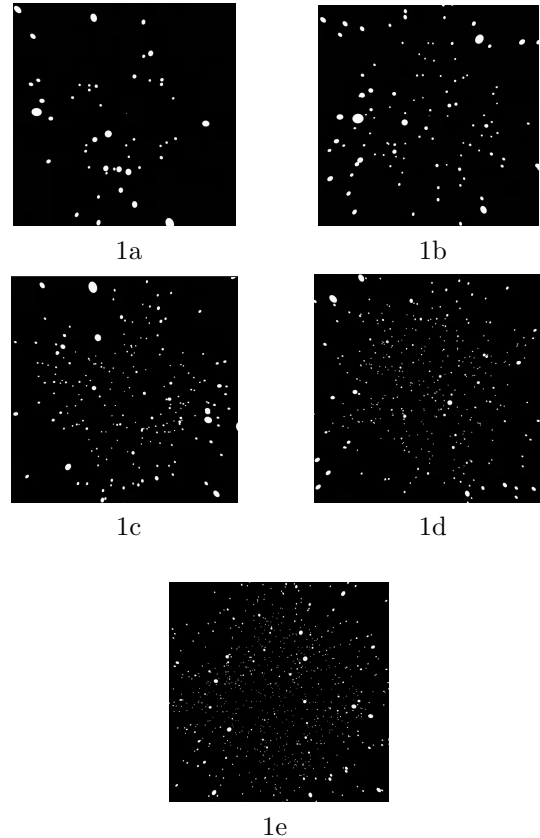


図 2: 実験 1 で提示した 5 種類の刺激

1. 基準の刺激 1c を提示する
2. 落下感に応じてコントローラーを操作させる
3. 1c 以外の 4 種類の刺激の中からランダムで 1 つ提示する
4. 落下感に応じてコントローラーを操作させる
5. 基準と比較した落下感の数値を回答させる
6. 1-5 を全ての刺激で繰り返す
7. コメント聴取

3.3 実験結果

実験結果を図 3 に示す。Friedman 検定より、いくつかの刺激で落下感の評価の差は有意であることが確認できた ($p < 0.01$)。そこで各刺激条件での落下感の差を確認するためにウィルコクソンの符号付順位和検定を行ったところ、1a-1c, 1c-1d, 1c-1e 間に有意差を確認した ($p < 0.01$)。また、潜時 (s) の平均値は 1a-1c:12.63-10.38, 1b-1c:12.73-11.44, 1c-1d:10.86-10.68, 1c-1e:10.36-8.55 であり、t 検定を行ったところ 1a-1c, 1b-1c 間に有意傾向を確認した ($p < 0.1$)。

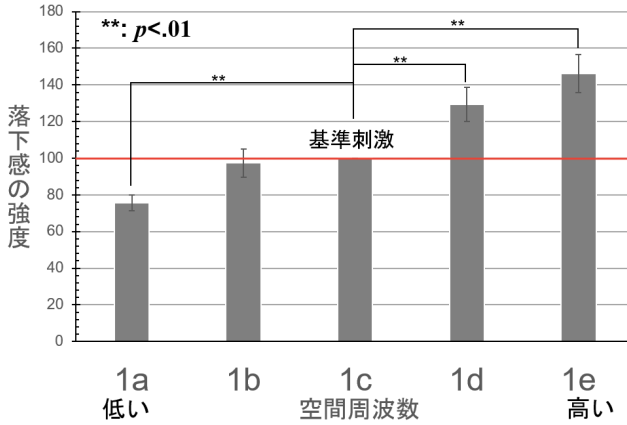


図 3: 実験 1: 落下感の強度と空間周波数の関係

このことから視覚刺激の空間周波数が高い程、落下感が増加し潜時も短くなっていることがわかる。これは従来研究 [4] と矛盾しない結果である。

4. 実験 2: 周辺視野領域における空間周波数と落下感の関係について

実験 2 では周辺視野領域における空間周波数の変化が落下感にどのような影響を及ぼしているのか検討した。中心視野領域の空間周波数を固定し、周辺視野領域の空間周波数を変化させて、落下感がどのように変化するか確認した。被験者数は色覚に問題のない 20 代の男女 15 名であった。

4.1 実験条件

5 種類の空間周波数の視覚刺激を用意して落下感の比較実験を行った。それぞれのコンテンツの条件を表 2 に示す。中心視野領域における各刺激のパラメータは固定されており、球の半径 5m, 球の個数 300 とした。これは実験 1 の 1c のコンテンツと同様の条件であり、2c の視覚刺激は 1c の視覚刺激と同様であることを示している。コンテンツ再生中は、常にカメラの位置から各視野領域を判別し、球がそれぞれの領域外に存在していた場合、非表示になるように設定した。図 4 は仮想空間の画面であり、中心視野領域を取得することで各領域を区別している。図 5, 6 は実際に提示した映像 2a と 2e であり、中心視野領域と周辺視野領域で刺激の種類を区別して表示できていることがわかる。落下感の評価、実験手順はそれぞれ 3.1, 3.2 と同様に行った。

4.2 実験結果と考察

実験結果を図 7 に示す。Friedman 検定より、いくつかの刺激で落下感の評価の差に有意傾向があることが確認できた ($p < 0.1$)。そこで各刺激条件での落下感の差を確認するためにウィルコクソンの符号付順位和検定を行ったところ、2c-2d, 2c-2e 間に有意差を確認した ($p < 0.05$)。また、潜時 (s) の平均値は 2a-2c:15.43-11.92, 2b-2c:14.15-12.65, 2c-2d:13.29-12.19, 2c-2e:13.82-13.23 であり、t 検定を行ったところ 2a-2c 間に有意差を確認した ($p < 0.05$)。このことから、周辺視野の刺激の空間周波数が中心視野よりも高

表 2: 実験 2 で提示した周辺視野領域における 5 種類の刺激のパラメータ

刺激の種類	2a	2b	2c	2d	2e
球の半径 [m]	10	$5\sqrt{2}$	5	$2.5\sqrt{2}$	2.5
球の個数 [個]	75	150	300	600	1200

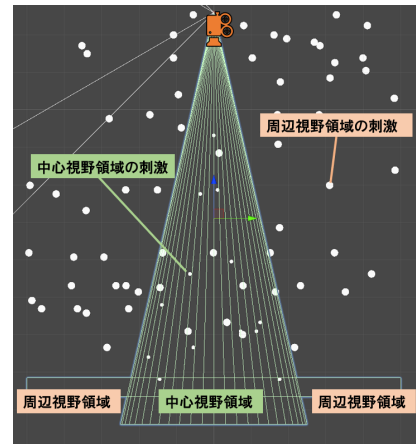


図 4: 実験 2 の仮想空間上で中心視野領域が判別できている様子

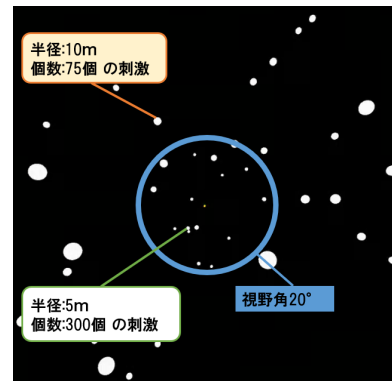


図 5: 実験 2 で提示した刺激: 2a

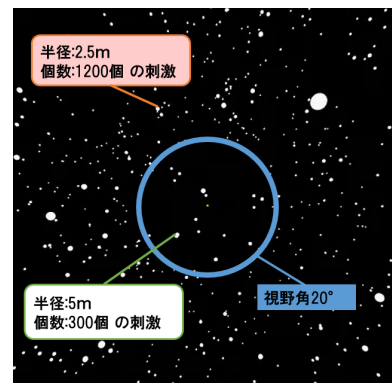


図 6: 実験 2 で提示した刺激: 2e

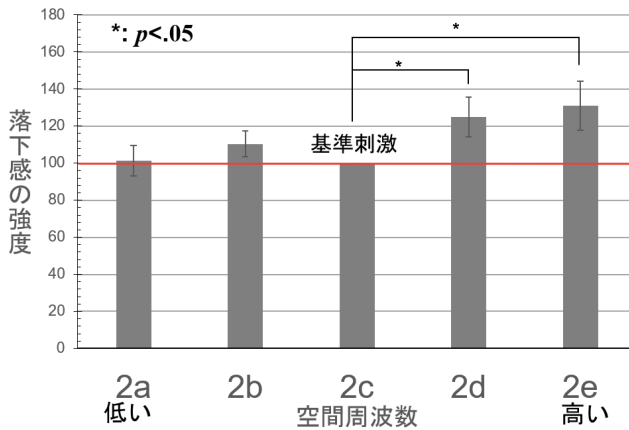


図 7: 実験 2: 落下感の強度と周辺視野領域における空間周波数の関係

い場合、空間周波数が高くなる程落下感が増加していることがわかる。VR コンテンツを制作する際に中心視野領域の刺激を変更することなく、周辺視野領域の空間周波数を増加させるだけで体験者の落下感を増幅することができると思われる。Palmisano らの先行研究 [4] と合わせて考察すると、ベクションに影響を与える要素は落下感にも影響を与えうるが、その性質はベクションと同様とは限らないということが示唆された。

また、今回の実験では、周辺視野の刺激の空間周波数が中心視野よりも低い場合、落下感への影響は少なかった。このことから周辺視野の刺激の空間周波数が中心視野よりも増加することで初めて落下感に顕著に影響を及ぼす可能性がある。

さらに、コンテンツごとに速度、加速度を変化させていないにもかかわらず、被験者のコメントとして「速さの違いを感じた」という回答が多かった。その中でも「球の数が多いとき落ちるスピードが速く感じた」という意見が複数人から得られた。周辺視野における空間周波数が被験者の速度感に影響を与えたことで落下感に影響した可能性がある。

5. まとめ

本実験では落下感の強度と周辺視野領域における刺激の空間周波数の関連性を検証した。結果として、周辺視野の刺激の空間周波数が中心視野よりも高い場合、空間周波数の増加に伴い落下感が増幅する傾向があることが確認できた。落下体験をさせるような VR コンテンツを制作する際に、注目物体周辺の刺激を変更することなく、外側の視野の空間周波数を増加させるだけでコンテンツの臨場感を高めることができる可能性があると考えられる。

また、ベクションの分野において、周辺視野領域では低空間周波数の視覚刺激が効果的であるが、落下感に関しては高空間周波数が効果的である傾向がみられたため、ベクションを誘起する性質が落下感の性質にそのまま反映可能とは限らないことが示唆された。したがって、ベクションに影響を与える様々な要素と落下感の関係を検証することでベクションと落下感の要因の違いを分析することができる可能性がある。

今後は刺激の空間周波数と落下感について、今回行わなかった中心視野領域における空間周波数の違いの検証等により詳細な実験を行うことで、VR における落下感の要因を検討していく。

参考文献

- [1] 近江政雄: 視覚誘導自己運動感覚, 電子情報通信学会技術研究報告, MVE, Vol. 103, No. 107, pp. 63 - 68, 2003.
- [2] Sauvan, X.M., Bonnet, C. : Spatiotemporal boundaries of linearvection, Perception Psychophysics, 57(6), 898-904, 1995.
- [3] Palmisano, S., Gillam, B.: Stimulus eccentricity and spatial frequency interact to determine circularvection, Perception, 27(9), 1067-1077, 1998.
- [4] 奥川夏輝, 古賀宥, 石津航大, 橋口哲志, 柴田史久, 木村朝子: VR 空間における視覚刺激によって発生する落下感覚の分析, 第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 673-676, 2017.
- [5] 岩崎果帆, 坂本雄児: 周辺視野領域からの視覚刺激が落下感覚へもたらす影響の検討, 令和 3 年度 電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 106, 2021.
- [6] Seno Takeharu, Ken-ichi Sawai, Hidetoshi Kanaya, Toshihiro Wakebe, Masaki Ogawa, Yoshitaka Fujii, and Stephen Palmisano: The Oscillating Potential Model of Visually Induced Vection, I-Perception, 8(6), 2017.