



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

奥川夏輝¹⁾, 古賀宥摩²⁾, 石津航大²⁾, 橋口哲志¹⁾, 柴田史久¹⁾, 木村朝子¹⁾

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)

概要：安価で高性能な頭部装着型ディスプレイ (Head Mounted Display; HMD) の登場により、人工現実感 (Virtual Reality; VR) 技術がより身近なものとなった。VR 体験をより没入感・臨場感の高いものとするために、人間の身体感覚に訴える VR コンテンツの開発が求められている。VR コンテンツの中でも、バンジージャンプやスカイダイビングのような疑似落下体験の臨場感を向上させるためには、視覚刺激によって知覚する落下感覚を解明する必要がある。ここでの落下感覚とは、重力方向へ加速度を感じながら落下していると知覚する運動感覚のことである。本稿では、落下感覚の知覚メカニズムを解明する第 1 段階として、空間周波数と体験者の姿勢に着目し、落下感覚との関係について実験を通して確認した。結果、空間周波数と姿勢が、落下感覚に影響を与えることを示した。

キーワード：落下感覚, HMD, 視覚誘導性自己運動感覚, 体験姿勢, 空間周波数

1. はじめに

安価で高性能な頭部装着型ディスプレイ (Head Mounted Display; HMD) の登場により、多くの人を手軽に、人工現実感 (Virtual Reality; VR) コンテンツを楽しめるようになってきた。VR 体験の魅力の 1 つとして、スカイダイビングやスキューバダイビングのような、日常簡単にはやってみることができないことを疑似的に体験できる点が挙げられる。このような疑似体験をより没入感や臨場感の高いものとするために、人間の身体感覚に訴える VR コンテンツの開発が求められている。

本研究では、視覚刺激の観察によって引き起こされる身体感覚の中でも、特に落下感覚に注目し、落下感覚のメカニズムを解明することで、落下の疑似体験が可能な VR コンテンツの臨場感や表現力の向上を目指す。

ここで、本稿で扱う落下感覚とは、自身が重力方向にただ移動するという感覚 [1] ではなく、重力方向に加速度を感じながら落下していると知覚する運動感覚のことを指す。被験者が、単なる重力方向の移動感覚とこの落下感覚の違いを区別可能なことは、実験前に確認している。落下感覚には、体験者の視覚情報だけでなく、恐怖心といった心理状態など、様々な要素が影響している可能性があるが、本稿では、まず視覚誘導性自己運動感覚 (ベクシオン) に着目して落下感覚を分析する。ベクシオンとは、一様に運動する視覚刺激を観察することにより、身体が静止しているにもかかわらず、あたかも動いているかのように知覚する運動感覚のことである [2]。

ベクシオンに関する先行研究として、呉ら [3] は、視覚刺激の空間周波数がベクシオンに与える影響について検討しており、結果としてベクシオンは視覚刺激の空間周波数に影響されることを確認している。また、東山ら [4] は、姿勢とベクシオンの関係について検討しており、仰向けやうつ伏せなど直立から離れるほどベクシオン強度が増加する傾向を確認している。

そこで本稿では、落下感覚のメカニズムを解明する第 1 段階として、ベクシオンの知覚に影響している空間周波数と姿勢が、落下感覚の知覚においても重要な役割を果たしているのか確認する。そこで、実験 1 では落下感覚と空間周波数の関係について、実験 2 では落下感覚と姿勢の関係について確認・考察を行う。

2. 実験環境

2.1 頭部装着型ディスプレイ

ベクシオンの知覚には周辺視領域が重要であることが知られている [5]。そのため、ベクシオンに影響がある要素と落下感覚との関係について検討するにあたり、できるだけ広範な視野領域に視覚刺激が提示できるものが望まれる。また、本稿では落下感覚を分析するにあたり、被験者の姿勢の影響についても確認する。そのため、被験者が様々な姿勢で視覚刺激を観察できるように、視覚刺激の提示ディスプレイとして HMD を採用した。

具体的には、実験に用いる HMD として、Oculus 社の Rift CV1 を採用した。これは水平・垂直共に約 90 度の視覚刺激を提示でき、一般向けに販売されている HMD の中でも比較的広い視野角を有する。

2.2 視覚刺激

十分な落下感覚を知覚するためには、ある程度の時間、

Natsuki OKUGAWA, Yuma KOGA, Kodai ISHIDU, Satoshi HASHIGUCHI, Fumihisa SHIBATA, and Asako KIMURA, Ritsumeikan University

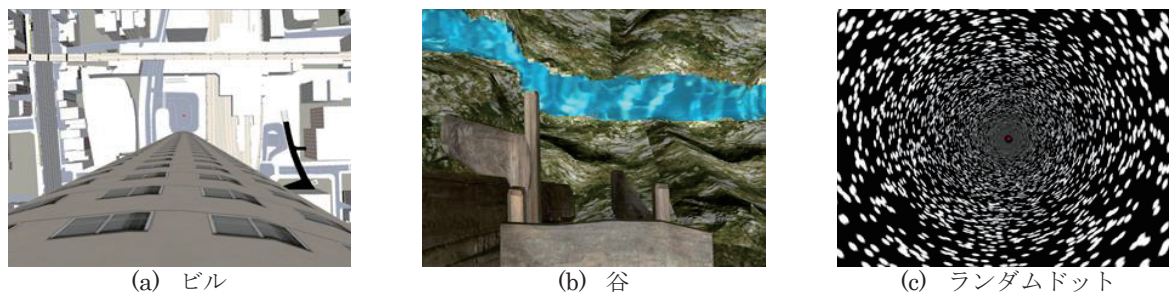


図1 実験に使用する視覚刺激



図2 実験時の姿勢

落下運動し続ける視覚刺激を観察する必要がある。そこで本稿では、現実の風景を模した視覚刺激としてビルと谷のCGを、より一般的な視覚刺激としてランダムドットを用意した(図1)。このとき、図2に示すようにいずれの姿勢においても被験者には真下(落下している方向)を向いて視覚刺激を観察させた。また、自由落下運動時の重力加速度は 9.8m/s^2 とし、視覚刺激の提示時間は10sとした。また、視線方向を固定するために赤色の注視点を設けた。

ランダムドットの生成方法は先行研究[5]を倣った。具体的には、VR空間内に直径6.0mの円筒形のCGオブジェクトを用意し、内側にランダムドットのテクスチャをマッピングして生成した。ランダムドットは黒色の背景に白色の円形ドットで構成されており、白色が占める密度を20%とした。ドットの直径は視野角に換算して2度とした。また、ビルと谷の視覚刺激と条件を揃えるため、円筒形の途中に地面を模したCGオブジェクトを設定した。このとき、ビル、谷、ランダムドットのVR空間上における落下開始地点と地面までの距離は850mで統一している。

3. 予備実験：落下感覚を知覚する視覚刺激の確認

3.1 実験目的

知覚する落下感覚が弱いと、落下感覚に影響する要素を確認する際にも弱い感覚同士の比較となり、落下感覚への影響を正確に抽出できないことが懸念される。そこで、予備実験では、本実験で使用する視覚刺激の選定のため、落下感覚をより強く知覚する視覚刺激を確認する。

3.2 実験条件

予備実験に用いる視覚刺激は図1に示すビル、谷、ランダムドットとした。被験者の姿勢は直立(図2(a))とし、真下を向いて視覚刺激に表示されている注視点から視線を逸らさないように教示した。

実験はSchefféの一対比較法(浦の変法)に基づいて行

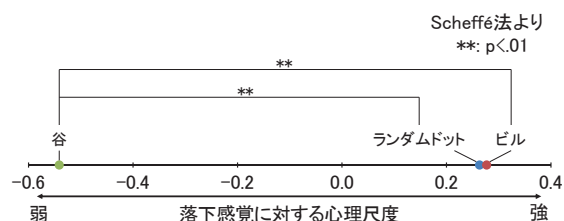


図3 視覚刺激ごとの落下感覚の知覚強度

う。被験者には視覚刺激をランダムに2つ提示し、どちらがより強い落下感覚を知覚したか5段階(-2~+2)で回答させた。このとき、1つ目に知覚した落下感覚が明らかに強かった場合は-2、2つ目が明らかに強かった場合は2、同程度だった場合は0と回答させた。この方法であれば、順序効果を考慮して簡便に心理尺度を構成することができる。試行回数は1人あたり $3C_2 \times 2 = 6$ 試行である。

なお、被験者は正常視力(矯正を含む)を有する成人13名(男性:10名, 女性3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種類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つ目の視覚刺激を比較させ、どちらがより強く落下感覚を知覚したか5段階で回答させる
- (5) 残りの組合せについて(1)~(4)を繰り返す
- (6) コメントを聴取する

3.4 実験結果

実験結果を図3に示す。数直線は自身の落下感覚に対する心理尺度を示しており、数値が大きくなるほど被験者が強い落下感覚を知覚していることを示す。

また、分散分析によりそれぞれの視覚刺激の条件間で落下感覚に有意差が認められた($p<.01$)。そこで、Scheffé

法の多重検定を行ったところ、ビルとランダムドットの条件間以外に有意差を確認した ($p<.01$).

図3より、谷の視覚刺激よりもビルとランダムドットの視覚刺激において落下感覚を強く知覚することがわかる。そこで、本実験では、落下感覚の検討にビルとランダムドットの視覚刺激を採用する。

4. 実験1:空間周波数が落下感覚に与える影響

4.1 実験目的

実験1では、提示する視覚刺激の空間周波数が異なる場合に落下感覚の知覚強度が変化するかを確認する。

4.2 実験条件

実験1では、予備実験で使用したビルとランダムドットの視覚刺激に加え、それらを基準として空間周波数を変更した視覚刺激を用いる。ビルの視覚刺激では、窓の大きさを4倍にすることで窓数を減らしたもの(低空間周波数)と、窓の大きさを4分の1にして窓数を増やしたもの(高空間周波数)を用意した(図4)。ランダムドットにおいても同様に、基準と比較して低空間周波数と高空間周波数の視覚刺激を用意した(図5)。このとき、ビルの窓と壁の面積比およびランダムドットの白黒比は統一している。また、視覚刺激を観察する姿勢は直立(図2(a))で統一した。

落下感覚の評価はマグニチュード推定法を用いて行い、ビルとランダムドットを別々に評価した。具体的には、基準刺激は予備実験で使用した視覚刺激(図1(a), (c))とし、基準の落下感覚の知覚強度を100とする。そして、実験1で新たに用意した視覚刺激によって知覚する落下感覚の強さを基準刺激と比較して倍数値で回答させた(例えば、落下感覚を0.5倍に知覚した場合50と回答させる)。

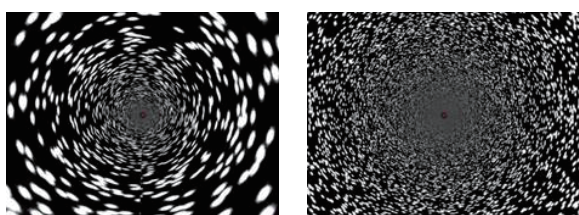
ビルの視覚刺激で検討する場合は、図1(a)を基準刺激とし、図4(a), (b)の2つ視覚刺激によって発生する落下感覚をそれぞれ評価する。試行回数は、同じ視覚刺激に対して3回ずつ行い、さらにビルとランダムドットを分けて検討するため、 $2 \times 3 \times 2 = 12$ 試行となる。

なお、被験者は予備実験と同じ成人男女13名である。



(a) 空間周波数：低い (b) 空間周波数：高い

図4 空間周波数を変更した視覚刺激(ビル)



(a) 空間周波数：低い (b) 空間周波数：高い

図5 空間周波数を変更した視覚刺激(ランダムドット)

4.3 実験手順

実験手順は以下のとおりである。

- (1) 基準の視覚刺激を提示する
- (2) 評価する視覚刺激をランダムに1つ提示する
- (3) 基準と比較して落下感覚を倍数値で回答させる
- (4) 全ての試行が終了するまで(2)~(4)を繰り返す
- (5) コメントを聴取する

4.4 実験結果と考察

ビルとランダムドットそれぞれの実験結果を図6に示す。横軸は、基準の視覚刺激に対する空間周波数の高さ、縦軸は落下感覚の評価値を表す。またt検定により、ビルとランダムドットそれぞれの視覚刺激の条件間に有意差を確認した ($p<.01$).

図6より空間周波数が低いと基準刺激よりも落下感覚が弱く、高いと基準刺激よりも落下感覚が強く知覚されることがわかる。これは、空間周波数が落下感覚の知覚強度に影響を与えることを示しており、空間周波数が高くなるにつれて落下感覚が強くなることを示唆している。

この実験で、「提示時間の後半は窓やドットが認識しづらく、落下感覚が弱まった」というコメントが得られた。このコメントより、空間周波数が高すぎると落下感覚の知覚強度が減少することが示唆される。ベクションは、最適な空間周波数の範囲内において空間周波数が高くなると知覚強度が増加し、それ以降は減少することが知られている[3]。つまり、空間周波数は落下感覚においても従来のベクション研究の結果と同様に影響を与えることを示唆している。

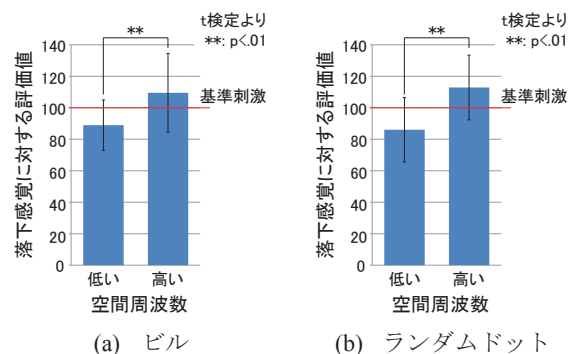
5. 実験2:姿勢が落下感覚に与える影響

5.1 実験目的

実験2では、視覚刺激を観察する姿勢の違いによって落下感覚の知覚強度が変化するかを確認する。

5.2 実験条件

実験2でも、実験1の基準刺激で用いた視覚刺激を使用する。落下感覚の評価方法は、実験1と同様にマグニチュード推定法を用いた。具体的には、基準となる姿勢を直立(図2(a))とし、端座位と伏臥位の場合に知覚した落下感覚の強さを評価した。評価する姿勢が端座位(図2(b))の場合、被験者の後方に設置した椅子に座るように指示し



(a) ビル (b) ランダムドット

図6 空間周波数と落下感覚の知覚強度の関係

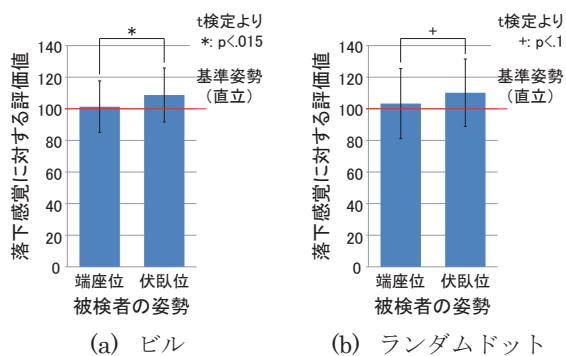


図7 姿勢と落下感覚の知覚強度の関係

た。また、伏臥位 (図2(c)) の場合、被験者の前方に設置したマットにうつ伏せになるように指示した。このとき、被験者が円滑に姿勢を変えられるよう、実験前に十分に練習させた。

実験2においても、ビルとランダムドットの視覚刺激による比較は行わず、それぞれ姿勢と落下感覚の関係について検討した。試行回数は、同じ姿勢に対して3回ずつ評価するため、実験1と同様に $2 \times 3 \times 2 = 12$ 試行となる。

なお、被験者は実験1と同じ成人男女13名である。

5.3 実験手順

実験手順は以下のとおりである。

- (1) 被験者を直立させ、視覚刺激を提示する
- (2) 姿勢の中からランダムに選択し、被験者に姿勢を変更させてから、視覚刺激を提示する
- (3) 基準に対して落下感覚を倍数値で回答させる
- (4) 全ての試行が終了するまで(1)~(3)を繰り返す
- (5) コメントを聴取する

5.4 実験結果と考察

姿勢を変更した実験結果を図7に示す。横軸は姿勢、縦軸は落下感覚の評価値を表す。t検定より、ビルの視覚刺激に対して姿勢の条件間に有意差が認められた ($p < 0.015$)。また、ランダムドットでは、姿勢の条件間に有意水準10%で有意な傾向を確認した。図7より、伏臥位は端座位で視覚刺激を観察するよりも落下感覚を強く知覚することがわかる。つまり、視覚刺激を観察する姿勢によっては落下感覚の知覚強度が変化することがわかる。

これは文献[4]の研究結果と同様の傾向であるため、実験1と合わせて考えるとベクションに影響する要素は落下感覚にも影響することが示唆される。従来研究では、姿勢によってベクションの知覚強度が変化する要因として、前庭系の刺激や筋肉系の刺激などを挙げており[4]、落下間隔においても同様の要因が影響している可能性が考えられる。

ここで、ベクションは、人間が移動する可能性があるとき客観的に判断できる視覚刺激の方が生じやすいことが知られている[2]。つまり、知識や経験がベクションに影響することを示唆している。また、実験後に被験者から「直立や座った状態で落ちる状況があまりイメージできない」というコメントを得ている。これは、スカイダイビングなどの落下体験をしたことがなくても、映像などで「伏臥位

は落下時に起こりうる姿勢である」というイメージを被験者が持っていたことを意味している。よって、この知識が直立や端座位よりも伏臥位で落下感覚をより強くした要因の1つである可能性が考えられる。また、ビルは姿勢の条件間に有意差が認められたが、ランダムドットでは有意傾向に留まっている。この点も知識が落下感覚に影響している可能性を示唆している。

6. むすび

本稿では、視覚刺激によって発生する落下感覚について、現実の風景を模した視覚刺激とランダムドットの視覚刺激を用いて分析を行った。まず、予備実験ではより落下感覚を強く知覚する視覚刺激を確認した。今回準備した視覚刺激の中では、ビルとランダムドットの視覚刺激で落下感覚をより強く知覚することを確認したため、これらの視覚刺激を本実験に採用した。

実験1では、視覚刺激の空間周波数を変えることで、落下感覚の知覚強度が変化するか検討した。結果として、高い空間周波数では落下感覚をより強く知覚し、低い空間周波数では弱く知覚されることがわかった。

実験2では、視覚刺激を観察する姿勢によって落下感覚が変化するか検討した。結果として、伏臥位で視覚刺激を観察した場合に落下感覚をより強く知覚することがわかった。これらは、ベクションに影響を与える要素が、落下感覚においても影響を与えることを示唆している。

空間周波数と姿勢においてベクションと同様の傾向が見られたが、それら以外にも落下感覚に影響を与える要素は数多く考えられる。例えば、地面が目の前まで迫ってくる状況や落下開始時の状況(能動的な落下か受動的な落下か)といった体験者の心理状態が落下感覚に関わってくる可能性も大いに考えられる。そこで今後、落下感覚において重要な役割を果たしている要素について模索・検討し、落下感覚の知覚メカニズムについて解明していく。

参考文献

- [1] 久米祐一郎, 長谷川大: “鉛直方向加速度と視覚情報の移動感覚へ与える影響”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 58, No. 5, pp. 727 - 730 (2004).
- [2] 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.
- [3] 呉景龍, 于英花, 楊家家: “視覚誘導自己直線運動感覚の空間特性の輝度依存性”, 人間工学, Vol. 49, No. 1, pp. 18 - 24, 2013.
- [4] 東山篤規, 山崎校: “自己誘導運動(ベクション)と身体姿勢の関係—ヘッド・マウンティッド・ディスプレイを用いて”, 日本心理学会第75回大会, 2AM065, p. 528, 2011.
- [5] 小西晃広, 橋口哲志, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: “リニアベクション現象を高める広視野空間での周辺視刺激の活用とその効果”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J100-D, No. 2, pp. 162 - 170, 2017.