

非平面ディスプレイのための浮遊感表現に関する考察

佐藤 大夢^{1,a)} 久保 尋之¹ 船富 卓哉¹ 高柳 亜紀² 中村 芳知²
瀬口 慎人³ 松岡 均³ 向川 康博¹

概要：近年，一般的な平面ディスプレイに代わる新しい情報提示手法として非平面ディスプレイが注目を浴びており，データの可視化やデジタルサイネージ等の用途で活用され始めてきている．一方で，平面ディスプレイと非平面ディスプレイとは情報提示や映像表現における特性が異なる可能性があることから，非平面ディスプレイのための映像表現について考える必要がある．本研究では，特に球体ディスプレイにおける浮遊感表現に焦点を当て，これを運動視差を活用して実現することを目的とする．実際に大型の球体ディスプレイを使用した評価実験を行うことで，運動視差と浮遊感の関係性を考察する．

1. はじめに

昨今の情報化社会において，人間に情報を視覚的に提示することができるディスプレイやプロジェクタ等の表示技術は生活に欠かせない存在となっている．また，近年では情報の多様化・複雑化に伴い「どの情報を提示するか」だけでなく「どのように情報を提示するか」についても重要視されてきており，情報の提示手法に関する研究や技術開発も数多く行われている [1][2]．さらに，表示技術の進歩に合わせて従来より豊かな映像表現を実現したいという需要も高まっており，裸眼立体視ディスプレイや4K・8K超高精細映像システム等，応用的な映像表現に関する研究もなされている [3]．

一方で，近年，一般的な平面ディスプレイとは異なる新しい情報提示手法として非平面の提示面を持つディスプレイが開発され，普及が進んでいる．例として，cobra curved display では，ディスプレイに観察者の周辺を覆うような形状を持たせることによって，没入感の高い映像表現を実現している [4]．また，Super Frontech Vision-Round Signage のように円柱型の形状を持つ曲面ディスプレイは，広視野角に情報を提示できることから，特にデジタルサイネージ用途での活用が期待されている [5]．さらに，日本科学未来館に展示されている Geo-Cosmos(図 1) をはじめとする球体ディスプレイは，球という立体的な提示面を持つことから，特に地球などの球形状を持つ物体の表現において観察者に高い現実感を与えることができるとして注目を



図 1 球体ディスプレイ Geo-Cosmos

浴びている [6]．

このように，非平面ディスプレイは，その特徴から今後データの可視化やデジタルサイネージ用途での活用が期待されている．しかし，従来の情報提示手法や映像表現は基本的には平面ディスプレイでの表現を考慮したものであるため，同様の手法を非平面ディスプレイにそのまま適用できるかは確かではない．そこで本研究では，非平面ディスプレイのための映像表現について調査及び考察することを目的とする．特に，非平面ディスプレイとして球体ディスプレイ，映像表現として映像内の 2 層の間に生じる奥行き差である浮遊感表現を想定する．球体ディスプレイはその形状から立体表現のように現実世界との親和性が高い表現が得意であると考えられることから，立体表現の一つである浮遊感表現に着目する．また，球体ディスプレイは 360 度全ての方向に提示面を持つことから，全ての観察者に同じ情報を提示すること等を目的として，表示映像を提示面上で回転させることが多い．そこで，異なる速度で回転する 2 つの映像を重畳表示し，2 層の速度差によって生じる

¹ 奈良先端科学技術大学院大学

² 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所

³ 科学技術振興機構 日本科学未来館

a) sato.hiromu.rw0@is.naist.jp

運動視差を活用することで、2層間の浮遊感表現の実現を目指す。

本研究では、実際に球体ディスプレイを使用した実験を行い、運動視差によって観察者が知覚する浮遊感について評価する。また、球体ディスプレイでの表現において運動視差が観察者に知覚させる浮遊感についての仮説を立て、実験結果と比較することで、その関係性について考察する。

2章では、本研究で焦点を当てている球体ディスプレイについて述べる。3章では一般的な運動視差について説明した後、特に球体ディスプレイの場合について考察し、球体ディスプレイにおける運動視差と浮遊感知覚の関係性に対する仮説を立てる。4章では運動視差による浮遊感知覚の評価実験について述べた後、3章で立てた仮説と比較することでその関係性について考察する。最後に、5章で本研究のまとめと今後の方針について述べる。

2. 球体ディスプレイ

球体ディスプレイは名前の通り球状の提示面を持つディスプレイであり、観察者の目を引く特徴的な形状を有していることや、360度全ての方向の観察者に情報を提示できることから、特にデジタルサイネージ用途や映像・アート分野での活用が始まっている。また、球体ディスプレイの大きな特徴として、特に地球のように球形状を持つ物体の表現に優れていることが挙げられる。実際、日本科学未来館に展示されている大型球体ディスプレイ“Geo-Cosmos”では、大気の流れや降水量等地球に関する科学情報を表示しているが、Geo-Cosmosを観察した時の印象は平面ディスプレイに表示された球体の見えを観察する場合と比較して明確に異なる。

3. 運動視差による浮遊感表現

球体ディスプレイは立体的な提示面を持つことから、立体表現のように現実世界との親和性が高い表現が得意であると考えられる。そこで本研究では、立体形状を持つ物体における特定の2層間の奥行き差を浮遊感として定義し、これの球体ディスプレイ上での実現を目指す(図2)。一方で、通常ディスプレイは1層の提示面しか持たないため、物理的な構造によって浮遊感を表現することは困難である。そこで本研究では、一つの提示面で複数の層やその間の奥行き差を知覚させる方法として、視差の提示に着目する。視差による奥行き判断には、対象を両眼で見た時に左右の網膜像に生じる差異から奥行きを判断する両眼視差と、観察者または観察対象が移動したときに生じる相対的な網膜像のずれから奥行きを判断する運動視差の二つがあるが、本研究では、運動視差に焦点を当てる。

本章では、はじめに一般的な運動視差について説明した後、特に球体ディスプレイの場合について考察し、球体ディスプレイでの表現において運動視差が観察者に知覚さ

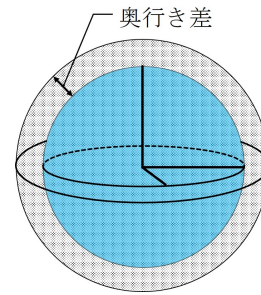


図2 本研究における“浮遊感”

せる浮遊感についての仮説を立てる。

3.1 一般的な運動視差

運動視差とは、網膜上に投影された対象について、観察者または観察対象が移動したときに生じる相対的な網膜像のずれ量のことであり、人間が奥行きの判断として利用する視覚情報の一つである。日常で見られる例として、新幹線の車窓から近くにある木と遠くにある山を眺めるようなシーンや、横断歩道で静止している観察者が異なる奥行きを等速で走行する複数の自動車を観察するようなシーンが挙げられる。前者の例では、近くの対象ほど速く、遠くの対象ほど遅く動いているように見えることで、この速度差により対象の遠近を把握することができる。また、後者の例では、対象が同じ速度で動いていても、近くの対象ほど速く、遠くの対象ほど遅く動いているように見えることで、この速度差により対象の遠近を把握することができる。前者は観察者の運動によって生じる観察者運動視差、後者は観察対象の運動によって生じる対象運動視差としてそれぞれ定義されており [7]、本研究では対象運動視差に着目する。

はじめに、静止している観察者の頭部から距離 d_A だけ離れた前額平行面上を、対象 A が速度 v で運動する場合について考える(図3(a))。運動の結果、対象 A の方向が角度 θ_A だけ変化すると仮定すると、対象 A に対する対象運動視差は以下の式 (1) で表すことができる。

$$\theta_A = \arctan \frac{v}{d_a}. \quad (1)$$

いま、対象 A の微小時間内での運動による角度 θ_A の変化が微小であると仮定すると、式 (1) は

$$\theta_A \simeq \frac{v}{d_A}. \quad (2)$$

と近似することができる。式 (2) より、対象 A の速度 v 及び運動視差 θ_A が与えられた場合、観察者から対象 A までの距離 d_A を計算できることがわかる。

次に、前額平行面上の異なる奥行き位置を同じ速度で運動する2点、対象 A 及び対象 B を観察した場合について考える(図3(b))。観察者から対象 B までの距離を d_B とすると、対象 B に対する運動視差 θ_B は以下の式 (3) で表す

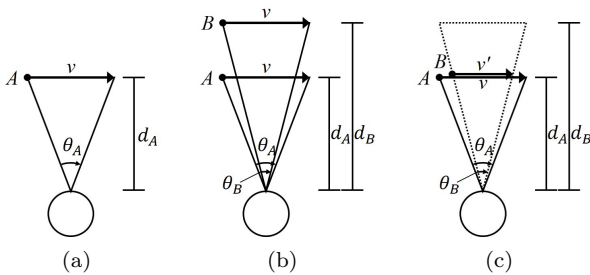


図 3 一般的な運動視差

ことができる。

$$\theta_B \simeq \frac{v}{d_B}. \quad (3)$$

式 (2) 及び式 (3) より、

$$\frac{d_B}{d_A} = \frac{\theta_A}{\theta_B}. \quad (4)$$

この関係から、対象 A 及び対象 B に対する運動視差 θ_A , θ_B を与えられた場合、観察者は対象 A までの奥行き d_A に対する対象 B までの相対的な奥行き d_B を知覚することができる。

一方、1 層の提示面しか持たない (対象 A 及び対象 B が同じ奥行きに位置していることに等しい) ディスプレイで対象 B までの奥行き d_B を表現したい場合 (図 3(c)), 対象 B を式 (5) で表される速度 v' で運動させることによって、観察者に図 3(a), (b) と同等の奥行き差を知覚させることができると期待される。

$$v' = \theta_B d_A. \quad (5)$$

以上の式より、複数の対象を異なる速度で運動させることにより生じる運動視差を活用することで、観察者に対象間の奥行きの違いを知覚させることができると考えられる。

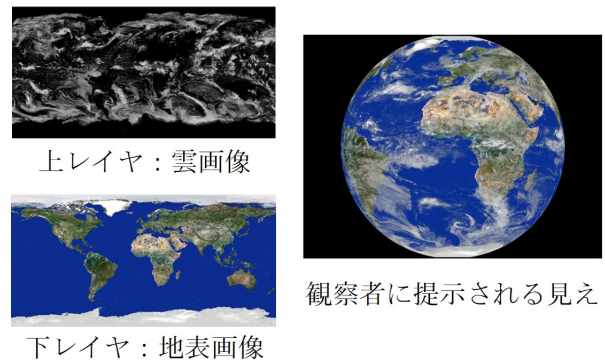
3.2 球体ディスプレイにおける運動視差

3.1 節で述べた運動視差は観察者の対象が前額平行面上を運動する場合、すなわち平面ディスプレイでの表現を取り扱ったものであるため、対象が円運動する球体ディスプレイに適用できるかは確かではない。

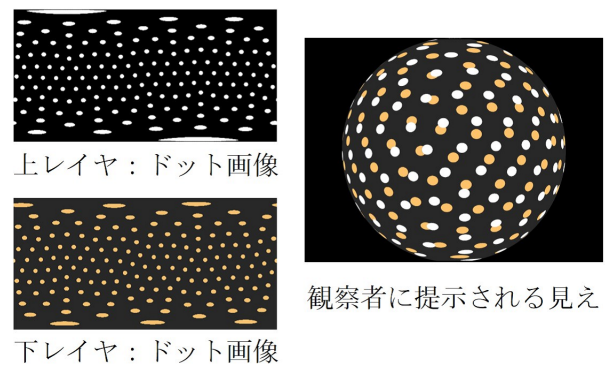
そこで本節では、特に対象が観察者の頭部からちょうど距離 d_A だけ離れた地点を速度 v で運動する瞬間について取り上げ、その場合に観察者が知覚する浮遊感について考察する。このとき、対象 A は観察者の頭部の前額平行面上を運動していると近似できることから、3.1 節で述べた運動視差の式が適用でき、対象 A に対する対象運動視差 θ_A は、

$$\theta_A \simeq \frac{v}{d_A}. \quad (6)$$

で表すことができる。また、式 (6) は円運動における半径 r 及び角速度 ω を用いて



(a) 評価パターン 1



(b) 評価パターン 2

図 4 評価実験で使用する映像

$$\theta_A \simeq \frac{r\omega}{d_A}. \quad (7)$$

と書き換えることができることから、式 (4) 及び式 (7) より、球体ディスプレイでの表現では、対象の角速度 ω によって、観察者に対象間の相対的な奥行き差である浮遊感を知覚させることができ、またその度合いは対象の角速度の比に比例すると考えられる。本研究では、これを仮説として設定し、評価実験によってこれを検証する。

4. 実験

球体ディスプレイでの表現において運動視差が観察者に知覚させる浮遊感について調査するために、被験者が球体ディスプレイに表示された映像を観察する形式による評価実験を行う。また、評価結果を 3.2 節で述べた仮説と比較し、運動視差と観察者が知覚する浮遊感の関係性について考察する。

4.1 球体ディスプレイにおける浮遊感表現の評価実験

本実験では、球体ディスプレイに異なる角速度で回転する 2 つの映像を重畳した評価映像を表示し、それを見た観察者が 2 層間で知覚した浮遊感について評価する。評価映像の作成には、図 4(a) に示すような 2 枚の画像を用いた。また、運動視差の変化による浮遊感知覚の変化について調査するために、2 つの映像それぞれに 5 パターンの回転

表 1 球体ディスプレイ Geo-Cosmos の主要スペック

| | |
|-----------|---------------------------|
| サイズ | 半径約 3m |
| 発光デバイス | 有機 EL(96mm 角パネル 10,362 枚) |
| 出力解像度 | 3860 × 1930 |
| リフレッシュレート | 30Hz |

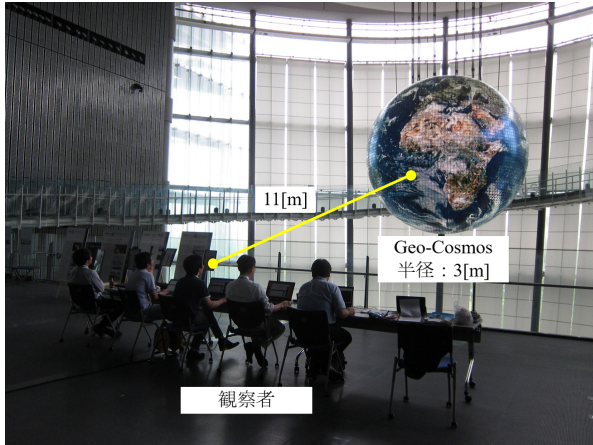


図 5 実験環境

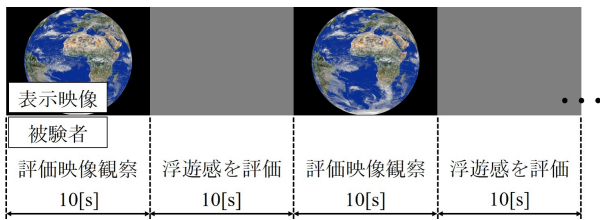
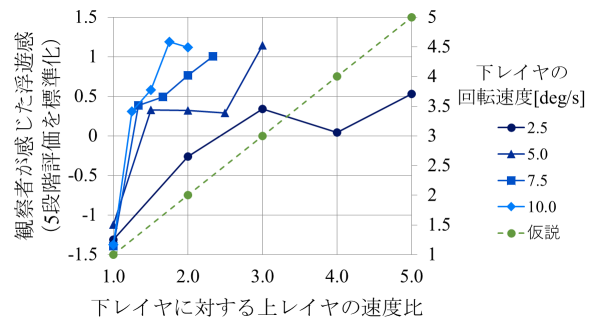


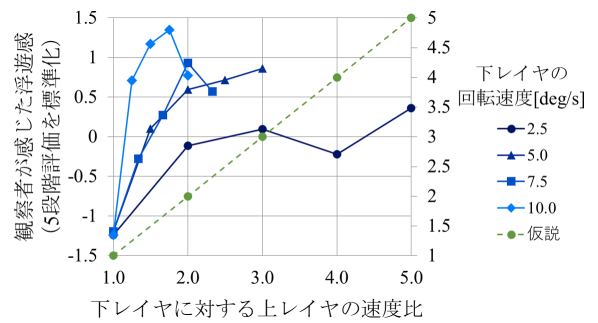
図 6 実験フロー

速度を用意し、それらを組み合わせた 25 種類の映像群を評価パターンとして設定した。さらに、本研究では評価パターンとして、雲画像 [8] と地表画像から構成される評価パターン 1 と、配色が異なる 2 枚のドット画像から構成される評価パターン 2 の 2 組の映像群を用意した (図 4(a) 及び図 4(b))。これは、球体ディスプレイに表示する映像の内容が観察者の浮遊感知覚に影響するかを確認するためのものである。評価実験で使用する球体ディスプレイには、日本科学未来館で展示されている大型球体ディスプレイである Geo-Cosmos を使用した。表 1 に、Geo-Cosmos の基本スペックを示す。

図 5 に実験環境を示す。評価実験では、球体ディスプレイに評価パターン 1 から作成された映像をランダムな順番で表示し、それを見た観察者が知覚した浮遊感を 5 段階で評価する手順を繰り返していく (図 6)。このとき、各評価映像に対する浮遊感の評価が、その前に提示した映像との相対値になってしまうことを防ぐために、各評価映像の間にグレー映像を表示する。全ての映像に対する評価が終了した後、観察者毎の浮遊感知覚のばらつきを無視するために、評価実験によって得られた 5 段階の評価結果を観察者毎に標準化し、2 層の回転速度差による運動視差とそれに

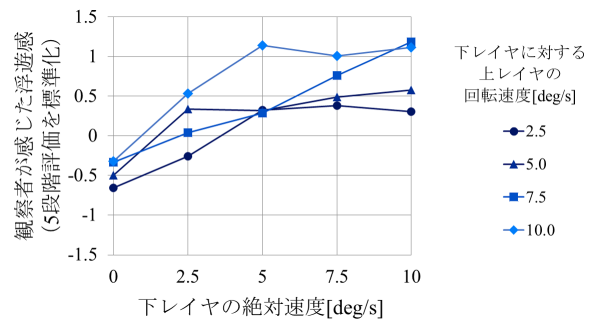


(a) 評価パターン 1(雲画像-地表画像)

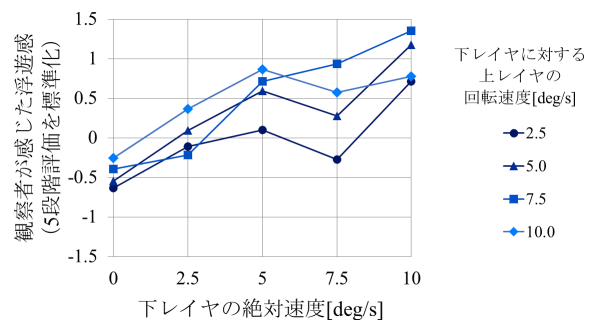


(b) 評価パターン 2(ドット画像-ドット画像)

図 7 速度比に対する浮遊感の評価結果



(a) 評価パターン 1(雲画像-地表画像)



(b) 評価パターン 2(ドット画像-ドット画像)

図 8 絶対速度に対する浮遊感の評価結果

よって観察者が知覚した浮遊感の評価結果を得る。同様の評価実験を、評価パターン 2 についても行う。

4.2 実験結果

図 7 は、それぞれ評価パターン 1 (上レイヤ：雲画像、下レイヤ：地表画像) 及び評価パターン 2 (上レイヤ：ドッ

ト画像, 下レイヤ: ドット画像) について, 2レイヤの速度比に対する観察者の浮遊感知覚の評価結果を示したものである。また, 評価結果を3.2節で述べた仮説と比較するために, それぞれの評価結果の第2軸に2レイヤの速度比に対する浮遊感知覚の変化の仮説をプロットしている。

図7(a), 図7(b)ともに, 下レイヤの回転速度に依らず, 2レイヤの速度比が大きくなるにつれて観察者が感じる浮遊感が増していることがわかる。この結果は, 3.2節で述べた仮説と一致しており, 運動視差を考慮した場合妥当な結果である。また, 評価パターン1及び評価パターン2で似た傾向の結果が得られていることから, 2レイヤの速度比が観察者の浮遊感知覚に与える影響は, 表示する映像の内容に依らないと考えられる。

一方で, 図7において, 2レイヤの速度比が同じ場合でも, 下レイヤの回転速度が速いほど観察者が感じる浮遊感が増していることがわかる。これは3.2節で述べた仮説とは異なる結果であり, この結果から, 2レイヤ間の浮遊感には2レイヤの速度比だけではなく各レイヤの絶対速度にも相関があると考えられる。そこで, 各評価パターンにおける下レイヤの絶対速度に対する観察者の浮遊感の評価結果を図8として示す。図8より, 下レイヤの絶対速度が速くなるに従って観察者が感じる浮遊感も増していることがわかる。また, 下レイヤに対する上レイヤの回転速度も観察者が感じる浮遊感と正の相関関係を持っていることから, 観察者が異なる速度で回転する2レイヤの間に知覚する浮遊感には, 2レイヤの速度比だけではなく各レイヤの絶対速度にも相関があると考えられる。

5. まとめ

本研究では, 非平面ディスプレイにおける映像表現の中でも特に球体ディスプレイにおける浮遊感表現に着目し, これの運動視差による実現を目指した。観察者が球体ディスプレイに表示した複数層の間で知覚する浮遊感には各層の速度比が関係しているという仮説を立て, 実際に球体ディスプレイを使用した実験を行うことで, 各層の速度比によって観察者が知覚する浮遊感の評価した。評価実験の結果, 観察者が球体ディスプレイに表示された2層の間で知覚する浮遊感には, 2層の速度比だけではなく各層の絶対速度にも相関があるという知見が得られた。

謝辞 本研究はJSPS科研費JP15H05918(新学術領域研究「多元質感知」)の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Robert Jacobson, Information Design, Massachusetts Institute of Technology, ISBN4-501-53660-8, 1999.
- [2] Ware C., Information Visualization: Perception for Design, Morgan Kaufmann, ISBN1-55860-511-8, 1999.
- [3] S. C. Park, M. K. Park & M. G. Kang: "Super-resolution image reconstruction: A technical overview," IEEE Sig-

- nal Process. Mag., 20, 21-36(2003).
- [4] COBRA SIMULATION,
<http://www.cobrasimulation.com/>
- [5] Super Frontech Vision-Round Signage,
<http://www.fujitsu.com/jp/group/frontech/products/peripheral/others/display/sfv-rs/>
- [6] Miraikan 日本科学未来館: Geo-Cosmos,
<https://www.miraikan.jst.go.jp/exhibition/tsunagari/geo-cosmos.html>
- [7] Rogers, B. J. & Graham, M.: "Motion parallax as an independent cue for depth perception, Perception," 8, 125-134(1979).
- [8] NASA VISIBLE EARTH
<http://visibleearth.nasa.gov/>