

# 球体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<sup>1†</sup> 久保 尋之<sup>1</sup> 船富 卓哉<sup>1</sup> 高柳 亜紀<sup>2</sup>

中村 芳知<sup>2</sup> 瀬口 慎人<sup>3</sup> 松岡 均<sup>3</sup> 向川 康博<sup>1</sup>

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

E-mail: † sato.hiromu.rw0@is.naist.jp

**あらまし** 近年、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。一方で、従来の映像表現は基本的には平面ディスプレイでの提示を想定しており、同様の手法を直接適用できるかは明らかでない。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、観察者の知覚を定量化することを目的とする。実際に球体ディスプレイを用いた実験で観察者の浮遊感知覚を評価し、その結果について考察する。

**キーワード** 球体ディスプレイ, 映像表現, 運動視差, 知覚, 評価

## Discussion of floating-expression for spherical display

Hiromu Sato<sup>1†</sup> Hiroyuki Kubo<sup>1</sup> Takuya Funatomi<sup>1</sup> Aki Takayanagi<sup>2</sup>

Yoshitomo Nakamura<sup>2</sup> Makoto Seguchi<sup>3</sup> Hitoshi Matsuoka<sup>3</sup> and Yasuhiro Mukaigawa<sup>1</sup>

1 Nara Institute of Science and Technology

2 Mitsubishi Electric Corporation

3 National Museum of Emerging Science and Innovation

E-mail: † sato.hiromu.rw0@is.naist.jp

**Abstract** In recent years, non-planar displays have been developed for data visualization, art, and exhibition. However, detail relationships between visual expression on non-planar display and human perception are unknown. In this study, we aim to quantify a perception in floating-expression on spherical display. We evaluate the floating-perception through an experiment using a spherical display and discuss the result.

**Keyword** spherical display, visual expression, motion parallax, perception, evaluation

### 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などの表示技術は生活に欠かせない存在となっており、「どの情報を提示するか」といった単純な情報の提示だけでなく「どのように情報を提示するか」など情報の提示手法についても数多くの研究や技術開発が行われている[1][2]。一方で近年、従来の平面ディスプレイとは異なり、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。代表的な例として、日本科学未来館に展示されている球体ディスプレイ Geo-Cosmos (図 1) は、球という立体的な提示面を持つことから、特に天球や惑星など球形状を持つ情報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



図 1 球体ディスプレイ Geo-Cosmos

して注目を浴びている[3]. このように, 非平面ディスプレイはデータの可視化やデジタルサイネージ, 展示開発用途での活用が期待されている. 一方で, 従来の映像表現は基本的に平面ディスプレイでの提示を想定しているため, 同様の手法を非平面ディスプレイに直接適用できるかは明らかにされていない.

そこで本研究では, 非平面ディスプレイの中でも特に球体ディスプレイに着目し, 球体ディスプレイでの映像表現における観察者の知覚について調査及び考察することを目的とする. 映像表現には様々なものが考えられるが, 非平面ディスプレイは没入感や臨場感の高さを活かした表現が得意であることが知られていることから, 本研究ではその一つとして映像内の2層の間で知覚する奥行き差を浮遊感として定義し, その映像を見た観察者が知覚する浮遊感の定量化を目指す. 浮遊感表現によって球体ディスプレイの提示面上で奥行き差を表現できた場合, 観察者は球体ディスプレイがあたかも半径の異なる2つの球から構成されているように知覚することができる.

本研究では, はじめに球体ディスプレイでの浮遊感表現における観察者の知覚について仮説を立て, これを定式化する. 次に被験者実験を行い, 観察者の評価結果を仮説と比較することで, 球体ディスプレイでの浮遊感表現と観察者の知覚の関係性について考察する.

## 2. 球体ディスプレイ

球体ディスプレイは, 名前の通り球形状の提示面を持つディスプレイである. 観察者の目を引く特徴的な形状を有していることや360度すべての方向の観察者に情報を提示できることから, 特に展示開発用途や映像・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, 特に天球や惑星など球形状を持つ情報の表現に優れていることが挙げられる. 実際, 日本科学未来館のシンボル展示である大型球体ディスプレイ Geo-Cosmos では, 人工衛星が撮影した地表, 気象画像などの科学データをはじめとした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を観察する場合と比較して明らかに異なる.

## 3. 運動視差を用いた浮遊感表現

通常ディスプレイは1層の提示面しか持たないため, 物理的な構造で観察者に奥行きを提示することは困難である. 一方で, 人間は日常生活において様々な視覚的活動から立体的な広がりや奥行きを知覚しており, それらを活用することで1層の提示面でも観察者に複数の層やその間の奥行き差を知覚させることができると考えられる. 本研究では, 球体ディスプレイでの情

報提示では360度すべての方向の観察者に同じ情報を提示するために表示映像を提示面上で回転させることが多いことに着目し, 人間の奥行き判断の要因の中でも特に運動視差を活用することで, ディスプレイのように1層の提示面しか持たない情報提示媒体での見かけの奥行きを提示を実現する.

### 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運動したときに生じる相対的な網膜像のずれ量である. 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歩行者が異なる奥行きを同じ速度で走行する複数の自動車を観察するようなシーンなどが挙げられる. 前者の例では, 近くの対象ほど速く, 遠くの対象ほど遅く運動し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, 同じ速度で運動している対象でも, 観察者から近い対象ほど速く, 遠い対象ほど遅く運動し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運動視差, 後者は観察対象の運動によって生じる運動視差としてそれぞれ知られており[4], 本研究では特に観察対象の運動によって生じる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2(a)). 運動の結果, 対象 $A$ の方向が角度 $\theta_A$ だけ変化すると仮定すると, 対象 $A$ に対する運動視差は以下の式(1)で表すことができる.

$$\theta_A = \tan^{-1} \frac{v}{d_A}. \quad (1)$$

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

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

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 $\theta_A$ 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2(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 $\theta_B$ は以下の式(3)で表すことができる.

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

式(2)及び式(3)より,

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

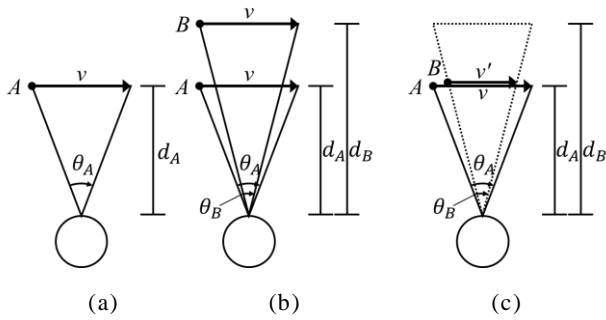


図2 一般的な運動視差

この関係から、対象A及び対象Bに対する運動視差 $\theta_A$ 、 $\theta_B$ 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2(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2(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応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考察する。すると、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 $\theta_A$ は、円運動における半径 $r$ 及び角速度 $\omega$ を用いて

$$\theta_A \approx \frac{r\omega}{d_A}. \quad (6)$$

で表すことができる。式(4)及び式(6)より、球体ディスプレイでの浮遊感表現では、対象の角速度 $\omega$ によって、観察者に対象間の相対的な奥行き差を知覚させることができ、またその度合いは対象の回転速度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、被験者実験によって検証する。

## 4. 実験

球体ディスプレイでの浮遊感表現における、2レイヤの回転速度比と浮遊感知覚の関係性について調査す

ることを目的とした被験者実験を行った。

### 4.1 評価映像

本実験では、球体ディスプレイの提示面上を異なる速度で回転する2つの映像の重畳表示によって生じる運動視差を活用することで、球体ディスプレイでの浮遊感表現を実現するとともに、観察者の浮遊感知覚を評価する。球体ディスプレイに表示する映像には、地表画像（下レイヤ）と雲画像[5]（上レイヤ）から構成される映像を用いた（図3）。また、2つの映像の回転速度としては、下レイヤは2.5 deg/sから7.5 deg/sまで2.5 deg/s刻みの3パターン、上レイヤは下レイヤに対する回転速度比として1倍から5倍まで1刻みの5パターンを設定し、それらを組み合わせた計15パターンからなる映像群を評価映像として用意した。

### 4.2 実験内容

本研究では、球体ディスプレイとして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 を使用する（図4）。実験において、観察者はランダムな順番で表示される評価映像に対して「映像の観察」と「浮遊感の5段階評価」を繰り返し行うことで、評価映像から知覚する浮遊感の有無や度合いを評価していく。また、各映像に対する浮遊感知覚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、評価時間の間 Geo-Cosmos にはグレー映像を表示しておく。

### 4.3 実験結果

本実験では、23名の被験者から評価映像に対する浮遊感知覚の評価結果を得た。すべての評価映像に対する評価終了後、得られた5段階の評価結果に対して観察者ごとに標準化を行った。この操作により、観察者ごとの浮遊感知覚の評価結果のばらつきを無視することができる。

図5(a)は、評価映像に対する観察者の浮遊感知覚の評価結果である。図5(a)から、回転速度比が1から3の場合において、2レイヤの回転速度比に対して観察者の浮遊感知覚が線形に推移しているように読み取ることができる。一方で、回転速度比が4以上の場合、観察者の浮遊感知覚の増加量が減少し始め、飽和しているように見える。この結果について深く考察するために、評価結果と仮説の相関関係を確認する。

図5(b)は、本実験の評価結果と仮説の相関関係をプロットしたものである。例えば、横軸が1-3の場合の縦軸の値は、回転速度比が1から3の評価結果と仮説の相関値を計算したものである。本実験では浮遊感知覚は回転速度比に対して線形という仮説を立てている

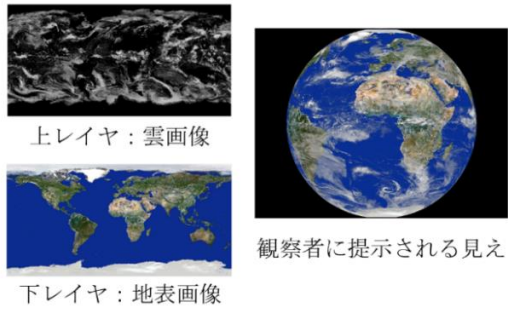


図 3 評価映像

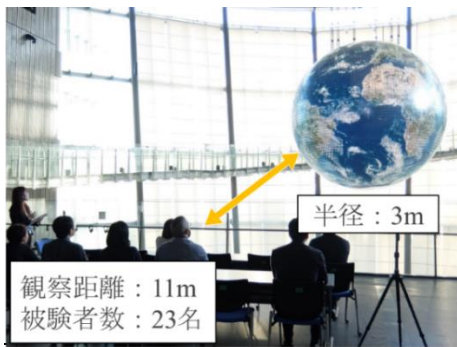
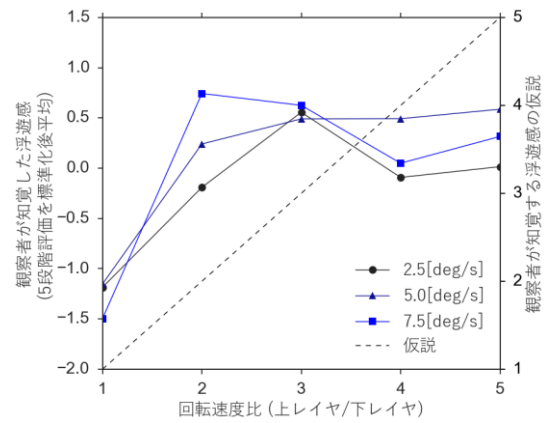


図 4 実験環境

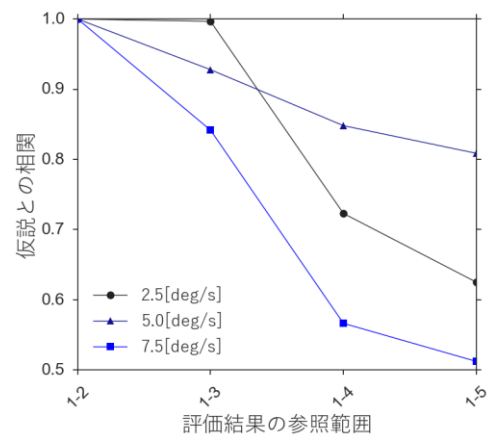
ため、評価結果が回転速度比に対して線形に推移している場合、相関値は 1 となる。図 5(b)から、回転速度比が 1 から 3 の評価結果を用いて仮説との相関を計算した場合、すべての凡例において仮説と約 0.8 以上の相関があることがわかる。一方で、回転速度比が 1 から 5 までの評価結果を用いて仮説との相関を計算した場合、仮説との相関は大きく下がっている。これらの結果から、観察者の浮遊感知覚は 2 レイヤの回転速度比が 3 までの場合は回転速度比に対してある程度の線形性を持つ一方で、回転速度比がそれ以上大きくなると飽和する傾向にあると考えられる。これは第 4 章で立てた仮説とは異なる結果である。このような結果が得られた原因には、観察者から得られた「回転速度比が大きすぎることで正しく浮遊感を評価できなかった」「回転速度比が大きすぎることで 2 レイヤが独立した映像であるように知覚した」などの感想が関係していると考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、球体ディスプレイでの浮遊感表現に焦点を当て、映像を見た観察者の知覚を定量化することを目的とした。実際に球体ディスプレイを用いた被験者実験を行うことで観察者の浮遊感知覚を評価し、その結果について考察した。被験者実験の結果、観察者の浮遊感知覚は 2 つの映像の回転速度比が大きくなるほど増加する傾向にあるが、ある回転速度比に達する



(a) 評価結果



(b) 仮説との相関

図 5 実験結果

と以降の知覚は飽和するという知見が得られた。

今後は、知覚心理学の観点からの浮遊感知覚の評価実験の実施や三次元データの可視化などの応用に対する浮遊感表現の有効性の提示、浮遊感表現以外の映像表現に対する観察者の知覚の評価を目指す。

**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。

## 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] Miraikan 日本科学未来館 : Geo-Cosmos. <https://www.miraikan.jst.go.jp/exhibition/tsunagari/geo-cosmos.html>.
- [4] B. J. Rogers and M. Graham. Motion parallax as an independent cue for depth perception. Perception, Vol. 8, No. 2, pp. 125-134, 1979.
- [5] NASA VISIBLE EARTH. <http://visibleearth.nasa.gov/>.