



## 逆遠近法を用いた錯覚の知覚条件の検証

竹内凌一<sup>1)</sup>, 橋本渉<sup>2)</sup>, 水谷泰治<sup>2)</sup>, 西口敏司<sup>2)</sup>,

- 1) 大阪工業大学大学院情報科学研究科 (〒573-0196 大阪府枚方市北山 1 丁目 7 9-1, m1m17a10@oit.ac.jp)  
2) 大阪工業大学情報科学部 (〒573-0196 大阪府枚方市北山 1 丁目 7 9-1)

**概要:** 逆遠近法を応用した立体を表示することにより, 立体が視点の動きに合わせて動いているような錯覚を与えることができる. この錯視立体に対してプロジェクションマッピングすることで, 常に視点に追従するようなコンテンツを提示することができる. このコンテンツは同時に多人数で観察することができるが, 逆遠近法が有効となる対象物の大きさや観察位置に制限がある. 本研究では逆遠近法を応用した立体をバーチャルリアリティ環境で再現し, 錯視が有効となる範囲を検証した.

**キーワード:** バーチャルリアリティ, 錯視, 逆遠近法, 立体視

### 1. はじめに

絵画的手法の一つに逆遠近法というものがある. 遠近法とは, 近くのを大きく描き, 遠くのを小さく描くことで, 実際の視覚に基づいた表現であるといえる. 一方逆遠近法では近くのを小さく描き, 遠くのを大きく描く. ペーパークラフトである Gathering for Gardner の "Thinky the Dragon"[1]などが逆遠近法を活用した例として有名である. この作品は逆遠近法とホロウマスク錯視を組み合わせてドラゴンが常にこちらを見ているように見えるというものである. この錯視をモニタに応用することで動画やコンテンツを動的に提示することができるため, ユーザに向けて常に情報を提示するデジタルサイネージやエンタテインメントに活用できるのではないかと考えた. そこで "Thinky the Dragon" の鼻部分がコーナーキューブ型であることに着目し, 逆遠近法によって凹凸が逆転することを狙い, 3 枚のモニタを用いてコーナーキューブ型モニタを作成し, このモニタに提示する映像を工夫することで提示する映像や情報が常にユーザを追いかけながら向きを変えるモニタにすることができると考え検証を行った. さらにバーチャルリアリティ環境でシミュレーション環境を構築し, 実際に錯視が有効となる範囲を検証した.

### 2. 逆遠近法とは

逆遠近法とは近くのを小さく描き, 遠くのを大きく描くことで背景の広がりや人物の権威を表現する絵画的技法のひとつである. この逆遠近法はトリックアートの分野でも使われている. 立体物の実際の形状とは逆に顔などを描画することで視観者が動いたときにその動きに

合わせて出っ張っているように見える箇所が追いかけてながら向きを変えているように感じる. また, Cook らの "Factors Contributing to Depth Perception: Behavioral studies on the reverse perspective illusion"[2]では心理学的側面から現象を調査しており, 格子線の密度が最も錯覚を知覚させやすく, 続いて陰影やテクスチャの影響を受けるとのこと等がわかっている. 一方, インタラクションを取り入れたものとしては, 小笠らがプロジェクションマッピングに足りていない立体感を補うために錯視を取り入れるコンテンツを提案している[3].

### 3. モニタによる逆遠近法錯視

動画による逆遠近法を実現するため, 液晶モニタを立体的に配置し, 凹凸が逆転できるかどうか検証をおこなった. 検証のための装置の外観を図 1 に示す.

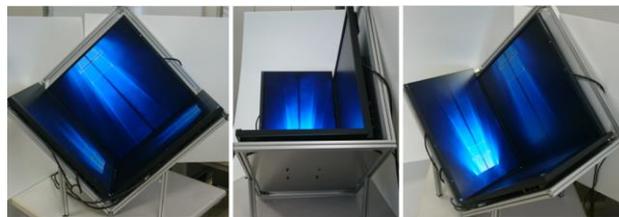


図 1 コーナーキューブ型モニタの外観

3 面のモニタでコーナーを構成する場合, 画素を有効に活用するという観点から正方形モニタを 3 枚用いるのが望ましい. しかし, 正方形かつ狭ベゼルの製品がなかったため, 1 面を正方形, 2 面を狭ベゼルの WUXGA 型モニタを使用した. 正面のモニタには Eizo EV2730Q を -135 度回転し, 左右のモニタには Eizo EV2455 を正面のモニタに合うように組み合わせる. 正面モニタは 1920 ドット × 1920 ドットの正方形モニタで左右のモニタは 1920 ドット

Ryoichi TAKEUCHI, Wataru HASHIMOTO,  
Yasuharu MIZUTANI and Satoshi NISHIGUCHI

×1200 ドットの長方形のモニタである。固定はアルミフレームを用いて自作した。なお、画面の回転は配線とベゼルが見えにくい組み合わせを検討した結果である。

映像の作成には、先行研究としては伊藤らの研究[4]のように3Dポリゴンモデルを入力して逆遠近錯視の立体をモデリングする方法も検討したが、今回は作成した映像をモニター一枚一枚に描画する必要があることから、射影変換を用いて作成することにした。コンテンツを別々のモニターに分割して描画する必要があるため、頂点が4つの四角形別の形状に射影することができるホモグラフィを導入した。ホモグラフィとはある視点で見た平面を別の視点から見たように変形する射影変換であり、台形状に変形することが可能になる。例えば、図2写真上の Monitor1 で正方形の1面を表示させるには、図2左図のように正方形の1頂点を内側に変形させることになる。本研究では表示図形が正面から見て正方形の場合の対角線を  $a$  とした場合、 $a$  が  $b$  の長さになるように射影変換した際の割合  $b/a$  を“歪み率”と定義する。これをパラメータとして 100% - 50% の割合で変化させたとき、どのようなパラメータの範囲で凸の感覚（立体的に見える感覚）を得ることができるかを評価した。

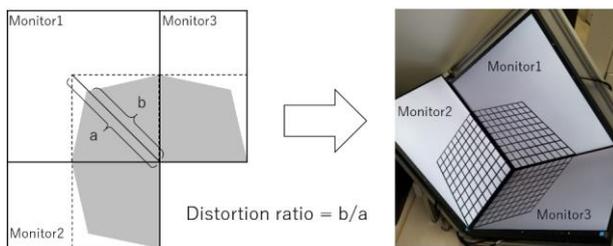


図2 コーナーキューブ型モニタにおける立方体の逆遠近表現と歪み率

検証の結果、歪み率 83.6%～67.9%の間でおおよそそのユーザが錯視による立体視が可能であった。この値は実際の環境で立方体を見た場合の見え方と概ね合致しており、被験者が歪みを持つテクスチャを、コーナーキューブ型モニタを介して見ることで錯視による立体視ができたことがわかる。

また、注視点を変えて行った調査では、ユーザの視点を頂点に固定することができればより確実に錯視を誘起することができることがわかった。評価実験で得た被験者の感想より、モニタの配置角度によって見え方が変化するという意見があった。正面から見るより横から見た場合に立体感が増すという意見もあり、モニタ結合部である正面からの観覧より適切な角度や傾斜がある可能性がある

#### 4. VR空間による錯視知覚範囲の検証

前章の実験より、観察位置を変えることで立体感が増して見えて錯視の効果が上がる可能性があることがわかった。しかしモニタを様々な場所に配置し、大きさを変更す

ることは困難である。またコーナーキューブ型モニタの面の配置では、表示コンテンツが立方体に限定されるなど、制約が大きい。今後プロジェクションマッピングの技法により、様々な形状を用いて動的なコンテンツを考慮する場合、VR空間で設計、検証を行うと都合がよい。そこで、VR空間を利用することで、実空間と同様の逆遠近錯視が得られるか、また錯視が有効な空間的範囲がどの程度かを検証した。本研究では差し当たりスケールは固定とし、実際にVR空間で錯視知覚範囲を実験によって求めることができるのかに焦点を当てて実験を行った。

#### 4.1 実験環境

錯視によって立体に見える逆遠近法のモデルは伊藤ら[4]によって作成されたモアイ像を用いた。図3左はモアイ像を正面から見た図である。このモアイ像の凹面にテクスチャが張られており、横からモアイ像を見ると右図のように見える。つまり正面から見ると鼻が観察者の方に出っ張っているように見えるが、実際は逆方向に凹んでいる。

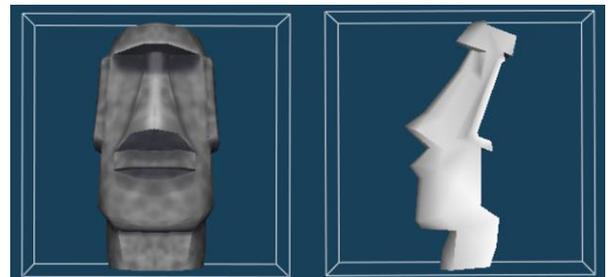


図3 モアイ像のモデル[4]（左：正面から、右：横から）

このモアイ像を用いて、逆遠近錯視が成立する、すなわちモアイ像が凸に見えるのはどの範囲かを調べる実験をおこなった。実験では、VR空間上にモアイ像を配置し、実験参加者との距離をとって、左右方向に自由に移動してもらい、モアイ像が凸に見える範囲を申告してもらう形式とした。VR空間上の位置関係を図4に示す。実験参加者はモアイ像からそれぞれ1mから6m離れた条件で、モアイ像を観察する。視点を左右に移動し、モアイ像が凸に見える限界まで、HMD付属のコントローラを用いて左右のポールを調節してもらう。モアイ像の大きさはVR空間上で高さ50cm、幅23cm、奥行きが20cmと設定した。

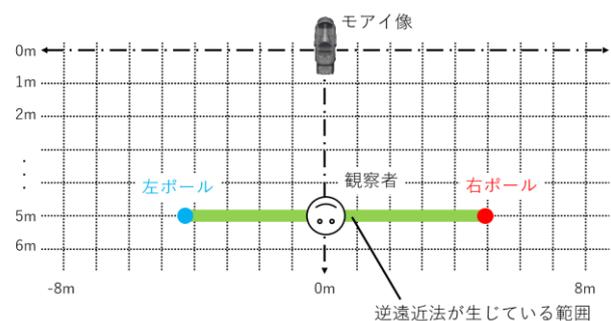


図4 実験環境を俯瞰した図

移動可能範囲は足元の前後 0.5m の範囲と左右無限遠までとした。図 5 に実験に使用した VR 空間を示す。空間内のオブジェクトについては、実空間とのスケール比を保つ目的で普段の生活で目にする身近なオブジェクトを配置した。(図 5)

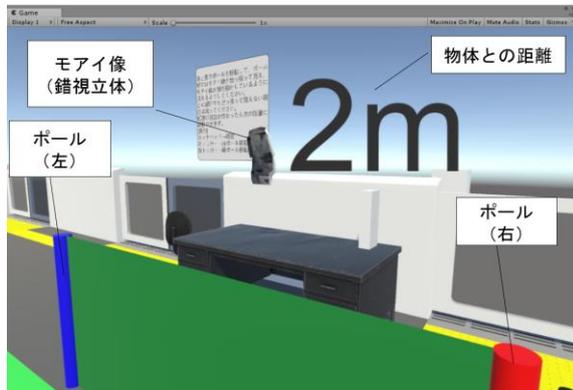


図 5 2m の距離に移動した場合の実際のシーン

モアイ像が凸に見えなくなってしまうシーンを図 6 に示す。図 5 ではモアイ像の向きが観察者の位置に追従しているように見えるが、一定以上移動すると、凹凸が反転していることがわかるため、逆遠近錯視として知覚されなくなる。

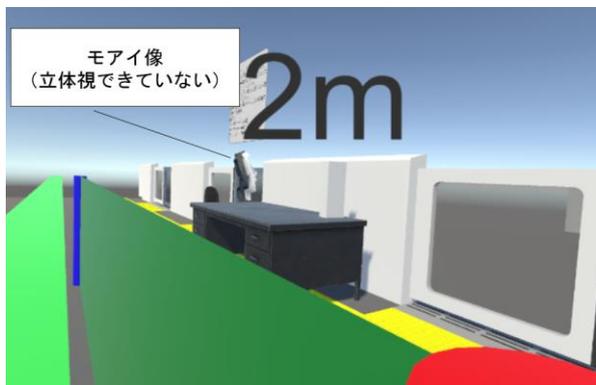


図 6 右に移動して逆遠近錯視が成立していない

実験参加者は 21 歳から 23 歳までの男女 16 人である。なお、身長による見え方の差をなくすため、実験開始時にモアイ像のモデルを目線の位置に調整した。

#### 4.2 実験結果

モアイ像が凸に見える、つまり逆遠近錯視が成立する範囲を示した結果を図 7 に示す。図は 16 人の回答の平均と標準偏差を表している。モアイ像からの距離が離れていくにしたがって、錯視が成立する範囲が広がっていることがわかる。錯視の知覚可能な範囲の、モアイ像に対する左右方向の幅の平均値は、物体との奥行方向の距離とほぼ等しかった。つまりモアイ像からの距離に比例しており、距離の半分程度まで左右に移動できることがわかった。左右

でわずかな偏りが見受けられたので各距離で検定を行ったところ、分散や平均の差に関する有意差はみられなかった。

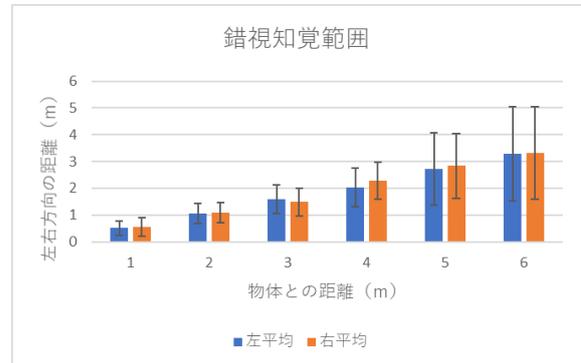


図 7 逆遠近錯視が成立する範囲

#### 4.3 考察

本実験の結果から、VR 空間でも逆遠近錯視が知覚されることがわかった。また、錯視が有効な範囲を調べることができた。本実験では最大 6m まで物体と離れたが、7m 以上離れると今回の実験で用いたモアイ像の大きさでは物体が何であるかは判別できるが解像度の点においても認識がしづらかった。対象物の大きさと距離については、被験者の視力や使用装置に依存することが確認できた。

#### 5. おわりに

本研究では、VR 空間において逆遠近錯視が実現できることを確認した。また、観察位置によって、逆遠近錯視の効果が変ること、分散があるものの左右で対称であることがわかった。今後は現実空間において、VR 空間と同様の実験を実施し、VR 空間における実験の妥当性について検証をおこなう。また、VR 空間で逆遠近錯視の物体を設計し、現実空間においてプロジェクションマッピングで投影することで、錯視を活用した広告などの可能性を模索していきたい。

#### 参考文献

- [1] “Thinky the Dragon”  
<http://www.puzzles.com/thinkyandfriends/>, (参照 2017-12-15).
- [2] Norman D. Cook, Asami Yutsudo, Naoki Fujimoto and Mayu Murata: Factors Contributing to Depth Perception: Behavioral studies on the reverse perspective illusion, *Spatial Vision*, Vol. 21, No. 3-5, pp. 397-405, 2008.
- [3] 小笠航, 片寄晴弘, 逆遠近錯視を用いたインタラクティブプロジェクションマッピングシステムの構築, EC2015
- [4] 伊藤紘治, 金森由博, 三谷純, 福井幸男. 逆遠近感を利用した錯視立体図形のモデリング. *芸術科学会論文誌*, Vol. 12, No. 3, pp. 143-151, 2013.