

Pranky Illusion Museum: 騙す側と騙される側に分かれて 体験するインタラクティブな錯視コンテンツ

海野貴智¹ 橋本直¹

概要: 錯視の中には、観察位置によって幾何学的な構造の解釈が変化する性質を持つものがある。我々はこの性質を活かしたインタラクション設計を行うことで錯視に新しい楽しみ方を提供できるのではないかと考えた。そこで本研究では騙す側と騙される側に分かれて体験する錯視コンテンツを提案する。提案手法ではまず騙す側が展示物の変形を行う。展示物の変形は騙される側の視点位置と連動して行われるため、騙される側の視点では展示物に外観上の変化が見られない一方で、展示物に対してボールを落としたり照明を当てたりした際に形状と矛盾した物理現象が観測される。その後、騙す側は錯視を発生させている仕掛けを解除することで騙される側に対する種明かしを行うことができる。本稿では体験デザインや実装方法について説明し、バーチャル美術館における評価実験の結果について報告する。

キーワード: 錯視, 視点, 不可能立体, 不可能モーション

1. はじめに

錯視の中には、観察位置によって幾何学的な構造の解釈が変化する性質を持つものがある。そのような錯視を利用した作品は、絵画、彫刻、ペーパークラフト、映像、ゲームなど、多様な媒体で表現され、人々を魅了してきた。

1533年にハンス・ホルバインによって描かれた「大使たち」という絵画は、アナモルフォーシスというだまし絵の技法が用いられた肖像画である。絵の中に細長く歪んだ物体が描かれており、正面から見ると何が描かれているかわからないが、画面に対して左下の位置から鋭角的に見ると頭蓋骨が描かれていることがわかる。アナモルフォーシスは現代においてもアート表現に利用される。1990年代初頭から Julian Beever が制作を始めた「anamorphic pavement illusions」は、地面にチョークで描かれたストリートアートである[1]。この作品でも「大使たち」と同様に、一般の視点では歪んでいる絵を見るが、特定の視点に移動すると立体的で整った絵を見ることができる。

このような平面上に描くことによるアプローチに対して、彫刻やペーパークラフトのような立体物として構成するアプローチもある。1969年に Viacheslav Koleichuk は、代表的な不可能図形である「ペンローズの三角形」[2]を立体彫刻として作った「Impossible Object」を発表している[3]。不可能図形とは、図として描くことはできるが、3次元空間では実現不可能な立体構造を持つだまし絵である。

「Impossible Object」では、一般の視点から観察すると曲面を描くように歪んで見えるが、特定の視点から観察すると歪みのない「ペンローズの三角形」が実現しているかのように見える。「Impossible Object」のような不可能図形の立体は「不可能立体」と呼ばれる。杉原は不可能立体を発展させた新しい錯視である不可能モーションを提案している。不可能モーションの代表作である「magnet-like slopes」[4]

では、スロープ状の模型の下端にボールを置くと、ボールが坂を上っていくという不可思議な物理現象が発生する。この現象は模型を特定の視点から観察した際に起こるものであり、異なる視点から観察した際には、模型が奥行方向に歪んでおり、認識していた傾きとは逆になっていたことがわかる。

ここまでで紹介した錯視作品では、特定の視点において不可思議な現象が起こり、一般の視点ではその現象の原理となっている仕掛けが見えるという対照的な構造がある。ここで、共通の錯視物体に対して異なる視点から観察する2名の体験者(A・B)の存在を考える。体験者Aは特定の視点において錯視物体を鑑賞する立場とし、もう一方の体験者Bは一般の視点において錯視物体を観察しつつ、モニタなどを介して体験者Aが見ている風景も確認できる立場とする。この状況では、体験者Bは体験者Aが見ている不可思議な現象を確認しつつその原因を知る立場にあるため、相手の反応を見る楽しみや優越感がある。ここでさらに体験者Bに錯視物体に変化を与える方法や、錯視の仕掛けをON/OFFする方法を提供すれば、体験者Bのいたずら心を刺激し、相手をインタラクティブに騙したり、種明かしをするといった能動性のある楽しみが生まれることが期待できる。また体験者Aにとっても、静的な錯視を受動的に鑑賞するのは異なり、相手とのコミュニケーションを通じて変化のある錯視体験となることが期待できる。

そこで本研究では、騙す側と騙される側に分かれて体験するインタラクティブな錯視コンテンツ「Pranky Illusion Museum」を提案する。提案手法ではまず騙す側が展示物の変形を行う。展示物の変形は騙される側の視点位置と連動して行われるため、騙される側の視点では展示物に外観上の変化が見られない一方で、展示物に対してボールを落としたり照明を当てたりした際に形状と矛盾した物理現象が観測される。その後、騙す側は錯視を発生させている仕掛けを解除することで騙される側に対する種明かしを行うこ

¹ 明治大学大学院
Meiji University.

とができる。本稿では体験デザインや実装方法について説明し、バーチャル美術館における評価実験の結果について報告する。

2. 関連研究

2.1 不可能立体の制作手法

不可能図形から不可能立体を制作するには、不可能図形の奥行きが矛盾している部分を特定の視点からは実現しているかのようにモデリングする必要があり、その制作手法が多数提案されてきた。杉原は、不可能図形を立体化する技法を「不連続のトリック」、「曲面のトリック」、そして自らが発見した「非直角のトリック」の3つに分類した[5][6]。不連続のトリックは、本来接続されている部分を切り離し、特定の視点でのみ連続しているように見せるという最も基本的な手法である。曲面のトリックは、本来平面である部分を曲面に変形し、特定の視点でのみ平面であるように見せる手法である[7][8]。曲面のトリックでは切り離された部分がないため、不連続のトリックよりも鑑賞可能な範囲が広い。非直角のトリックは、本来90度であるところを90度でなくなるように変形し、特定の視点でのみ90度であるように見せる手法である[9][10]。杉原はこの手法を利用することで不可能モーションを制作している。また、松田らは非直角のトリックを用いることで、CG空間やVR空間において不可能モーションをインタラクティブに作成できるシステムを提案している[11][12][13]。

提案手法では騙す側が展示物の変形を行う際、騙される側の視点では外観上の変化が見られない変形となるようにシステムが補助するため、結果として騙される側は展示物の変形には気付かない。どのトリックを使用しても変形可能であるが、今回制作した展示物では不可能モーションも扱っているため非直角のトリックによる変形を行う。

2.2 CG空間での錯視表現

CGにおいて錯視を扱った研究では、その描画方法やインタラクシオンの方法が提案されている。篠原らはレイトラッキング手法を用いたレンダリングにより不可能立体を写実的なCG画像として表現する手法を提案している[14]。吉川らは複数の画像バッファの合成において遮蔽関係を入れ替えることにより、不可能立体のARでの提示を可能にした[15]。また、中津らはトーラス状不可能立体において、特定の視点に合わせた形状モデリング手法によりアニメーションを生成する手法を提案した[16]。藤木らは、2次元像からは3次元の奥行きを一意に決定することができないという性質を利用したインタラクティブなだまし絵を提案している[19]。提案されているだまし絵表現の一例として、3次元空間ではオブジェクトが不連続であっても、鑑賞者の視点から繋がっているように見える場合には、キャラクターはオブジェクト上を行き来できるというものがある。この表現は鑑賞者に実世界ではありえないと感じさせ、知的好

奇心を刺激する効果を持つ。また藤木らは、不可能立体の中を一人称視点で歩くコンテンツも提案している[20]。体験者は、ペイントボールを壁や他の体験者が操作するキャラクターに当てることにより、不可能立体という不可思議な空間の中にいるということを認識する。

このようにCGにおける錯視では、描画方法によって自然な見え方にする一方で、実現不可能であることとの矛盾をより強調するアプローチと、インタラクション上の工夫によって不可思議な現象を発生させるアプローチがある。我々の研究は後者に属するものであり、複数の体験者が非対称な役割でインタラクティブに錯視を鑑賞するという点に新規性がある。

2.3 鑑賞者の視点と連動した錯視の提示

現実空間における錯視の鑑賞において、鑑賞領域を拡張する手法が提案されている。林らは、Kinectを用いた鑑賞者のトラッキングにより、不可能立体の展示作品の角度や高さを変えることで、鑑賞者が意識せずとも製作者の意図する観察位置での鑑賞を可能にする手法[17]を提案した。またSolinaらは、動的アナモルフォーシスのシステムを提案した。動的アナモルフォーシスとは、視点位置のトラッキングにより鑑賞者が常に歪みのない画像を見ることができるといった手法であり、壁に投影された人間の顔が常に鑑賞者に視線を向けるというアートインスタレーション[18]を可能にした。

我々の提案手法においても鑑賞者の視点位置と連動した物体変形を行うことにより、実際は変形しているにもかかわらず、鑑賞者からは物体が変形していないように見えるという状態を実現している。前述の研究では、鑑賞者に対して常に錯視を成立させていたが、我々の手法では、錯視の成立・不成立状態の切り替えを体験者側に委ねることによって、錯視を使って相手を騙すことや、錯視が起こる原理の種明かしを見ることの楽しさを狙った。

3. Pranky Illusion Museum

3.1 概要

Pranky Illusion Museumは3次元CG空間において騙す側と騙される側に分かれて体験するバーチャル錯視美術館である。本提案の鑑賞体験を図1を用いて説明する。2名の体験者は騙す側(editor)と騙される側(observer)に分かれて同じ展示室に入る。展示室では、展示物の周囲を移動して初期状態を確認できる。その後、editorは展示物の変形を行うことができるが、この変形はobserverの視点からは外観上の変化が見られない変形であるため、observerは初期状態からの変化に気付かない。一方observerは展示物に対する物理的なアクション(図の例ではボールの落下)を行うことができる。その結果、observerの視点では展示物の外観が変化していないにもかかわらず、物理挙動が想定通りではないという見え方と物理現象の不整合が生じる。

最終的に editor は、錯視を発生させている仕掛けを解除することで observer に種明かしをすることができる。例えば、observer の視点移動を制限することが錯視の発生要件となっている場合、その制限を解除することで observer は自由な位置から観察できるようになり、物体が変形していた事実を知ることができる。

このような体験設計にすることにより、editor にとっては相手を騙したり種明かしをしたりすることの楽しさを提供し、observer にとっては見え方と物理現象との不整合に対する驚きやその仕掛けを知った時の驚きを提供する。

3.2 システム構成

ネットワーク接続された 2 台の PC があり、それぞれの PC で体験者の役割 (editor/observer) に応じたモードのプログラムが実行される。体験者は各自の PC の画面を見ながら、ゲームパッドを用いて操作する。CG 空間ではそれぞれの体験者はアバタとして表示され、相手の位置や向きを確認できる。プログラムの開発には Unity を使用し、ネットワーク通信には WebSocket を使用した。

今回実装したインタフェースを図 2 に示す。editor/observer どちらのインタフェースでも主観視点の映像に加えてボタンの操作説明が表示される。また、editor のインタフェースでは、画面左下に observer 視点の映像が表示される。アバタのデザインは、互いの存在を視認でき、向いている方向や作業している様子がわかるようにする必要があるが、外観は任意でよい。今回の実装では、カメラの形をしたモデルに手をつけたアバタを使用し、editor は緑色、observer はオレンジ色とした。

3.3 観察位置に基づく展示物の変形

本提案では、observer 視点では外観上の変化が見られない変形を editor が行う。この変形には、2 次元像からでは 3 次元物体の奥行きを一意に決定することができないという曖昧性を利用する。以下、変形の方法を透視投影の場合と平行投影の場合に分けて説明する。

透視投影における変形を、図 3 を用いて説明する。赤い線は observer の視点位置と任意に選ばれた展示物の可動点を通る半直線である。ここで、observer の視点から得られる画像からは各頂点の奥行きを決定することができない。そのため、各可動点は赤い線の上であればどこにあっても observer の視点からの見え方変わらず、変形後のように展示物を変形させても、observer からは変形していないように見える。

平行投影における変形を、図 4 を用いて説明する。赤い線は observer のスクリーン平面に投影された展示物のパーツの各頂点座標を起点として、ワールド座標系における展示物のパーツの各頂点座標を通る半直線である。透視投影のときと同様、observer の視点から得られる画像からは各頂点の奥行きを決定することができない。また、平行投影では、物体が奥行き方向に移動しても見え方変わらない。

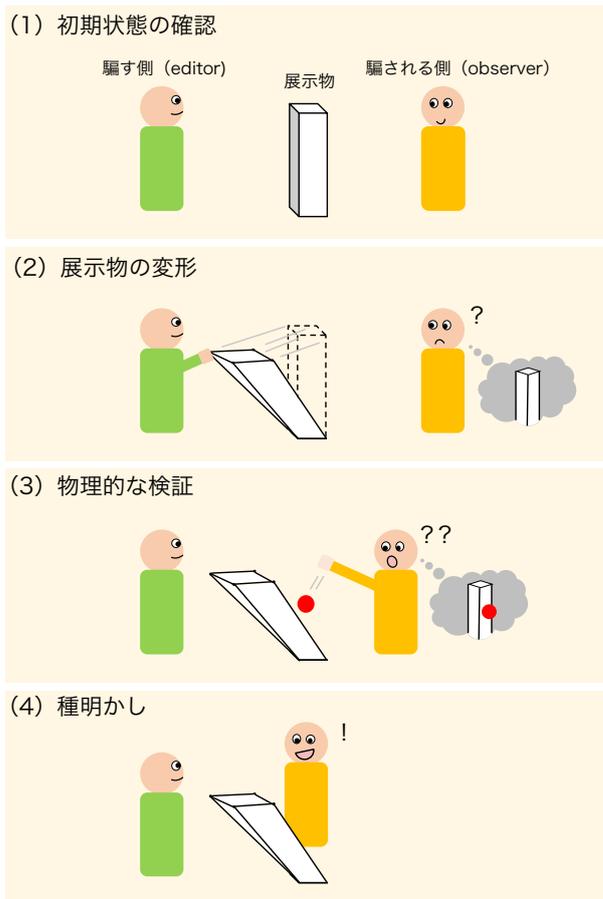


図 1 騙す側と騙される側に分かれて体験する錯視コンテンツ

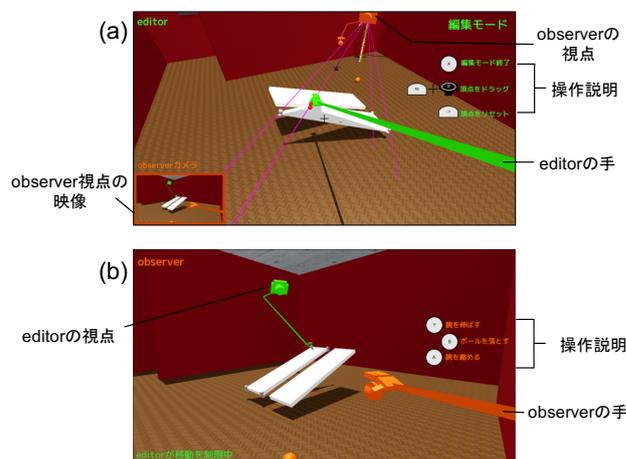


図 2 インタフェース (a) editor, (b) observer

そのため、変更後のように observer の視線方向にパーツを平行に移動させることにより展示物を変形させても、observer の視点からの見え方は変わらない。平行投影においても、透視投影における物体変形と同様に、展示物の頂点を可動点として動かすことも可能である。今回の実装では、平行投影の奥行きによる大きさの変化がないという特徴を活かすために、平行投影における物体変形では、可動点による変形を行わなかった。

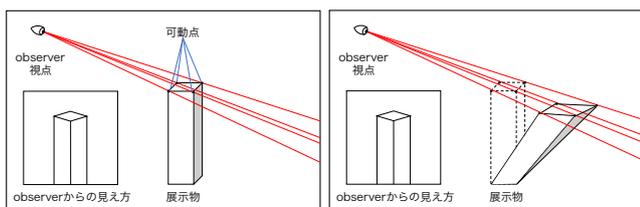


図 3 透視投影における展示物の変形
 (a) 変形前, (b) 変形後

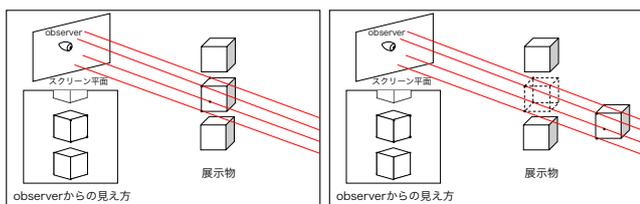


図 4 平行投影における展示物の変形
 (a) 変形前, (b) 変形後

これらの変形は observer からは外観上の変化が見られない変形である。変形の方法は、observer が動かない場合には一定だが、動く場合には observer の位置に同期して変わる。これら変形方法を視点固定型、視点同期型に分け、editor の操作を個別に用意した。視点固定型では、editor は可動点に直接接触することで展示物を変形させる。このとき、observer が移動すると成立しないため、observer の移動は制限する。視点同期型では、editor は展示物の変形方法の切り替えを行うことで変形に関与する。これは、展示物が observer の移動に合わせて自動で変形するため、直接接触することが難しいからである。

変形方法の切り替えは「追従変形/歪曲変形」と「種明かしなし/種明かしあり」の 2 つの切り替えを行う。「追従変形」は observer に対する可動点の位置が一定の距離だけ遠くなる変形で、「歪曲変形」は observer に対する可動点の位置が振動する変形である。

「種明かしなし」は「追従変形」と「歪曲変形」を機能させる状態である。「種明かしあり」はこれに切り替えた直前の observer の位置における変形に固定することで、「追従変形」と「歪曲変形」を機能させない状態である。

3.4 展示作品の内容

Pranky Illusion Museum に展示する作品を 4 つ制作した。本節では各作品の内容を紹介する。なお observer は、作品 1, 2 では透視投影、作品 3, 4 では平行投影であり、editor の投影方法は常に透視投影である。また、展示物の変形は作品 1, 3 では視点固定型で、作品 2, 4 では視点同期型である。

3.4.1 作品 1 「ボールが逆走する坂」

この作品は、坂状のオブジェクトの上をボールが逆走していく。展示室の中には 2 つの板状のオブジェクトが坂と

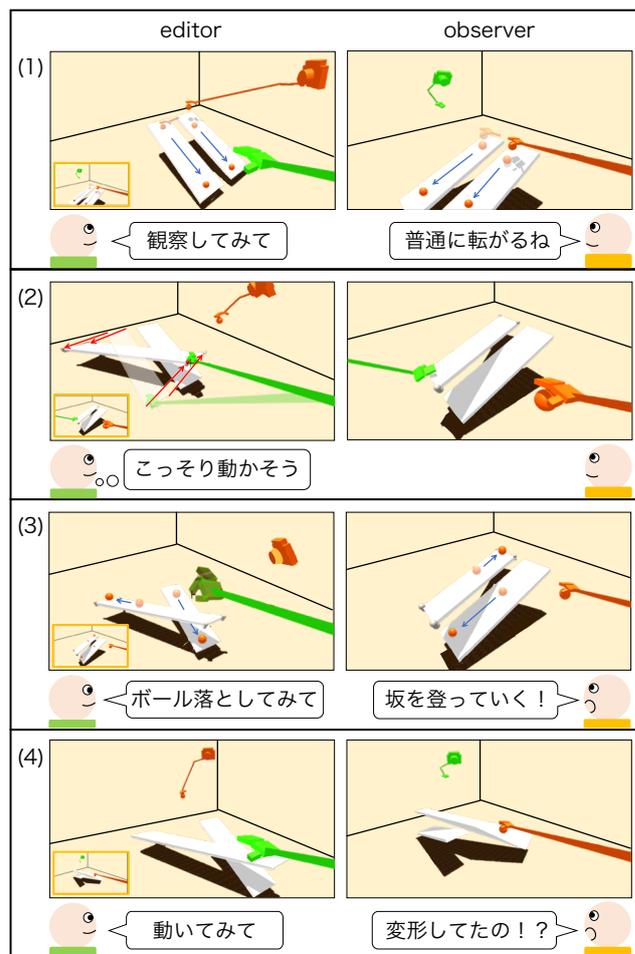


図 5 作品 1 「ボールが逆走する坂」の体験例

なるように傾いて設置されており、そのうちの 1 つが変形可能オブジェクトとなっている。

作品 1 で想定している体験例を、図 5 を用いて説明する。まず observer は、それぞれの板の上にボールを落とし、ボールが板の勾配に沿って転がっていく様子を観察する。次に editor は、observer に告知せずに変形可能オブジェクトを変形させる。このとき同時に observer の移動は制限される。編集の後で editor は、observer にボールを落とすように指示する。observer は再びそれぞれの板の上にボールを落とし、板の上を転がる様子を観察するが、さきほどまでの転がり方とは異なることに気づく。最後に editor が observer の移動制限を解除し、observer が移動して板を見ると形状が大きく変化していることに気づく。

3.4.2 作品 2 「影が生きている彫刻」

この作品は、observer からは変形がわからないように勝手に動くオブジェクトである。展示室の中には、四角柱、四角錐、球体などいくつかのオブジェクトが設置されており、これらが自動変形オブジェクトとなっている。自動変形オブジェクトは observer の移動に連動しており、observer からは常に静止している彫刻のように見えるが、editor からは自動変形オブジェクトが observer から近付い

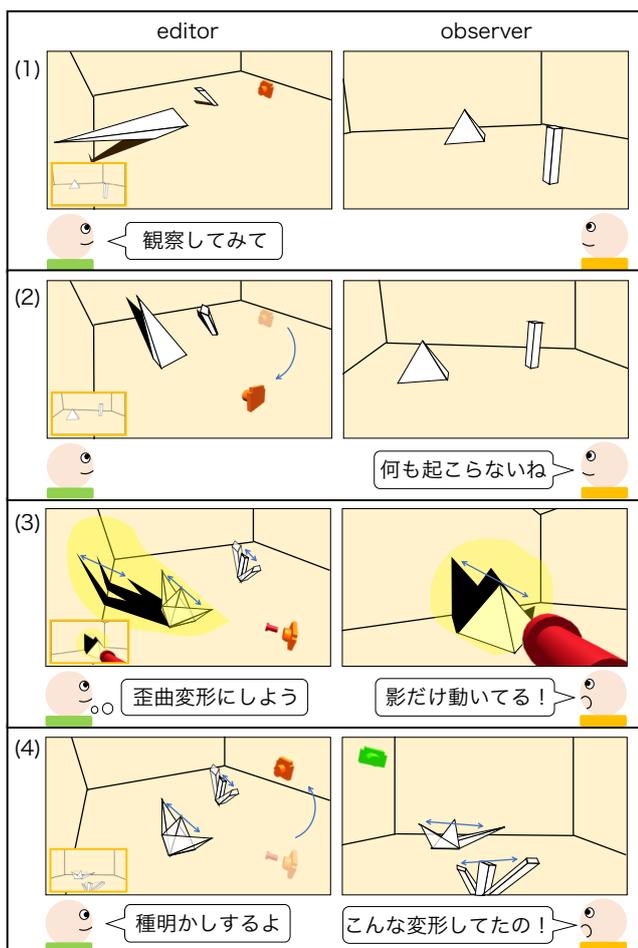


図6 作品2「影が生きている彫刻」の体験例

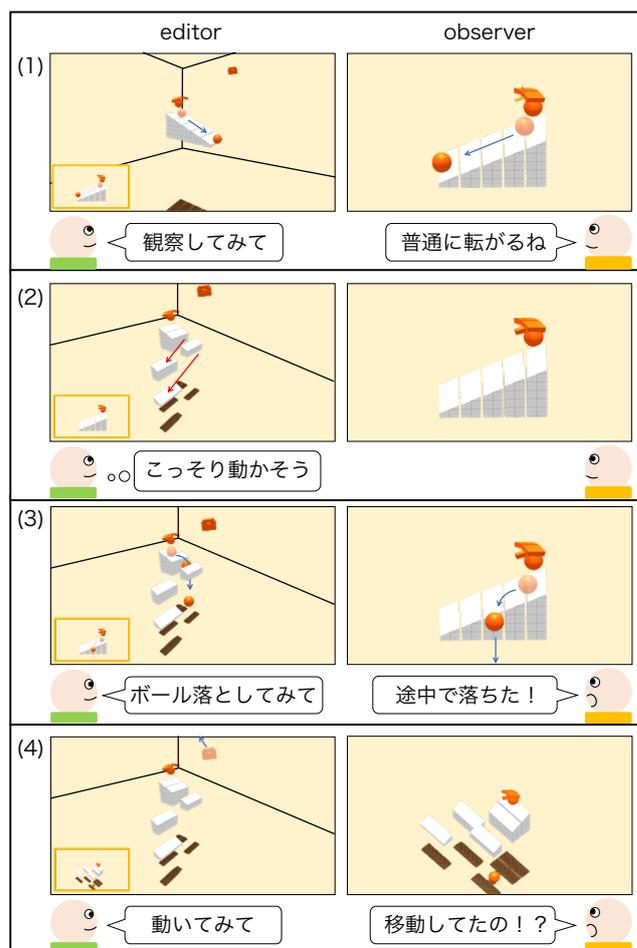


図7 作品3「滑れない滑り台」の体験例

たり遠ざかったりするような変形を観察することができる。

作品2で想定している体験例を、図6を用いて説明する。まず editor は、observer に動き回るように指示する。observer は室内を動きながら観察する。このとき、自動変形オブジェクトは observer に同期して変形するが observer からはわからない。さらに observer は照明を持ちながら観察する。editor が「歪曲変形」に切り替えると、observer は波を打つような動きをしている影を観察し、動いていない自動変形オブジェクトと比較して驚く。最後に editor が「種明かしあり」に切り替えることで、observer は自動変形オブジェクトの歪みや動きを観察できるようになり、今まで動いていないように見えていたオブジェクトとの対比に驚く。

3.4.3 作品3「滑れない滑り台」

この作品は、オブジェクトの配置とボールの転がり方との不整合を体験するものである。展示室の中には、いくつか分割された三角柱状の変形可能オブジェクトが設置されている。

作品3で想定している体験例を、図7を用いて説明する。まず observer は、坂のように配置された変形可能オブジェクトにボールを落とし、ボールが坂の勾配に沿って転がっていく様子を観察する。次に editor は observer にはわから

ないように変形可能オブジェクトを移動させる。このとき同時に observer の移動は制限される。編集の後で observer は再び坂の上にボールを落とし、坂の上を転がる様子を観察するが、さきほどのように転がらずに途中で落ちていく様子を見て異変に気づく。最後に editor が observer の移動制限を解除し、observer が移動して坂を見てみると配置が大きく変化していることに気づく。

3.4.4 作品4「踊らない人、踊る影」

この作品は、observer からはわからないように自動で変形するオブジェクトである。展示室の中には、複数のパーツで構成された人型の自動変形オブジェクトが設置されている。自動変形オブジェクトは observer の移動に連動しており、パーツがそれぞれ異なる動きをする。このとき observer は、ボールをオブジェクトに当てたり床に映る影を見たりすることで物理現象のおかしさに気づく。

作品4で想定している体験例を、図8を用いて説明する。まず editor は、observer に動き回るように指示する。observer は editor の指示に従って室内を動き回る。また、ボールを落としてみると、落とす位置は固定されているにもかかわらず、落としたボールが人型オブジェクトにぶつかったりぶつからなかったりすることから異変に気づく。さらに

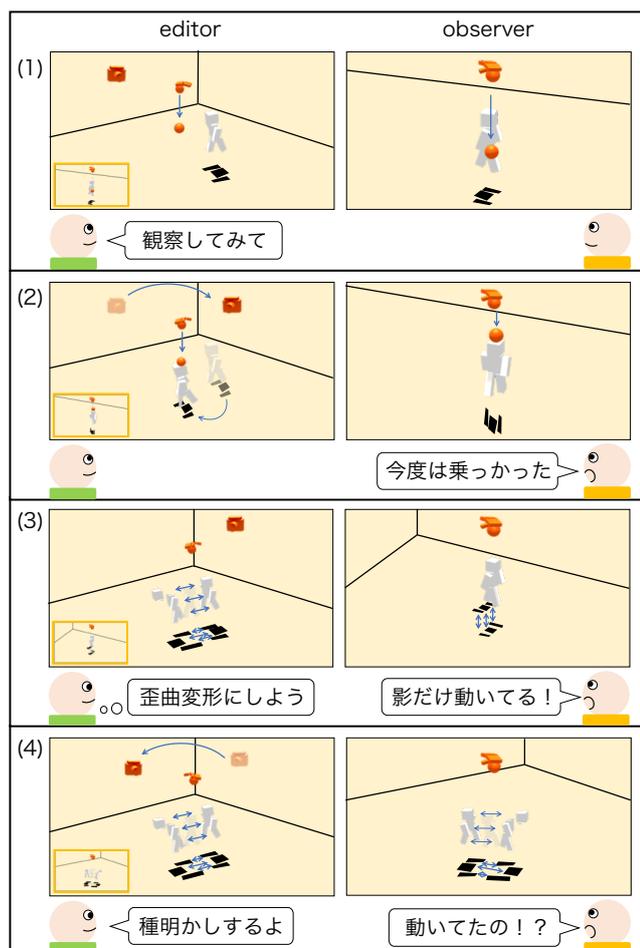


図8 作品4「踊らない人, 踊る影」の体験例

editor が「歪曲移動」に切り替えると、人の影だけが大きく動いているのが観察でき、動いていないように見える人型オブジェクトと比較して驚く。最後に editor が「種明かしあり」に切り替えることで、observer は人型オブジェクトの動きを観察できるようになり、動いていないように見えていた人型オブジェクトとの見え方の対比に驚く。

4. 実験

4.1 実験目的

Pranky Illusion Museum における鑑賞体験について、以下のことを検証するために実験を行った。

- 好奇心を刺激し驚きを与える体験になっているか
- 体験者が錯視現象やその原理を理解できているか
- どのようなコミュニケーションが行われるか

4.2 参加者

参加者として 12 人の大学生および大学院生（男性 9 名、女性 3 名：19-24 歳）が参加した。参加者は 2 人 1 グループとなり本コンテンツを体験した。グループは面識のある 2 人で組ませた。これは参加者にコミュニケーションを交えた体験をさせたかったためである。



図9 フロアマップ

4.3 実験手順

事前説明を行い、作品を体験させた後、アンケートとインタビューを行った。事前説明では以下のことを説明した。

- 2 人同時に錯視美術館を体験すること
- 印刷されたフロアマップ（図 9）を見て、その順路通りに回ること
- それぞれの参加者用の前室では、個別に次の展示室での操作を練習すること
- 各展示室を出る直前に、「この展示室ではどのようなことが起こっていましたか」という質問に回答させるインタビューを行うこと
- 各展示室のインタビューで回答できるように、積極的なコミュニケーションを心がけること

なお、editor と observer の役割や錯視の現象などのコンテンツの内容は一切伝えなかった。また、参加者 2 人のどちらが editor と observer となるかは無作為に決定した。作品を体験させる順番はどのグループでも同じ順番とした。

4.4 アンケート項目

アンケート項目を以下に示す。

- Q1: 知的好奇心を刺激された。【1. そう思う ～ 5. そう思わない】
 - Q2: 驚いた。【1. そう思う ～ 5. そう思わない】
 - Q3: 退屈だった。【1. そう思う ～ 5. そう思わない】
- Q1～Q3 は 4 つの作品それぞれに対して個別に回答させた。また、これらは 5 段階のリッカートスケールである。

4.5 結果と考察

4.5.1 コンテンツに対する好奇心・驚き

コンテンツに対する好奇心や驚きに関するアンケートの回答結果を図 10, 図 11, 図 12 に示す。知的好奇心が刺激されたかを問う質問では全ての作品において過半数が 4 以上と回答した。驚いたかを問う質問では作品 1 の editor を除いて過半数が 4 以上と回答した。また、退屈だったかを問う質問では作品 1 の observer を除いて過半数が 2 以下と回答した。以上の結果から、editor, observer 共に知的好奇心を刺激し驚きを与える体験になっていたことが示唆された。作品 1 で比較的评价が低かった理由として、最初に体験する作品であるため参加者が操作に慣れていなかったこと、他の作品に比べて操作が難しかったことが考えられる。

4.5.2 錯視現象や原理への理解

錯視現象や原理への理解について、インタビューを行ったところ、editor からは「カメラの移動を検知して、それによってうまくずれて、動いてるけど動いてないように見

える」(作品2)という回答や、「さっき(作品1)は視点を固定した状態で、視点と頂点の延長上を、頂点を移動させることで、同じように見えていた。今回は常に動かした状態になっていた」(作品2)という回答が得られた。また observer からは「5つの坂みみたいな図形が連なっていて、それを editor が移動できるけど、その移動は observer の位置によって移動できる方向と角度が決まっている」(作品3)という回答や、「キリンの首が視点から動いているふうには見えないように動いていて、ボールを落とす視点から見て常にキリンの手前側にボールが落ちているように動いていた」(作品4)という回答が得られた。以上の結果から、editor、observer 共に錯視現象やその原理を理解できていたことが示唆された。

4.5.3 鑑賞体験の捉え方

今回の実験では、参加者には editor と observer の役割や錯視の現象などのコンテンツの内容は一切伝えないという設計にした。その結果 editor は操作を通して騙し・種明かし行為を理解していき、各作品で想定していたような体験が多くグループで行われていた。editor に対して騙し・種明かし行為をどのような捉え方をしていたのかをインタビューしたところ、「騙している感じ」、「クイズを出している感覚」、「いたずらしている」という回答が得られた。また、体験中には「支配している」という発言がされていた。これらのことから、editor は observer よりも優位な立場にいることへの楽しみや優越感を感じていたことが示唆された。一方で observer からは「推理している」、「謎解きしている」という回答が得られた。これは editor による種明かしがされる前の騙されている状態に関する回答である。これらの observer は、展示室を進むにつれて各作品に対して種明かしが行われることに気づき、種明かしをされる前に原理を解き明かしたいという知的な好奇心で行動していたと考えられる。

4.5.4 特徴的なコミュニケーション

参加者を観察する中で見られた特徴的なコミュニケーションについて説明する。

editor は observer の反応を見計らって騙し・種明かし行為を行っていた。これに関して editor にインタビューしたところ、「これからネタバレしますと言って変えたらつまらないと思った」、「ふてくれさたらすぐに話す(種明かしする)けど、(observer が自身の状況を)めっちゃ話してて楽しんでいるようだったから解かせたくなった」という回答が得られた。これに対して observer は「最初からネタバレされちゃうと、理解しようとするできてないから、意外と助かった」、「最終的に、ネタバレしてくれるのもあるから、考える時間もあって、ネタバレしてくれる時間もあるのはすごく助かった」と回答していた。これらのことから、editor にとって、騙し・種明かしをタイミングよく行ったことにより相手から良い反応が返ってくることは喜びに繋

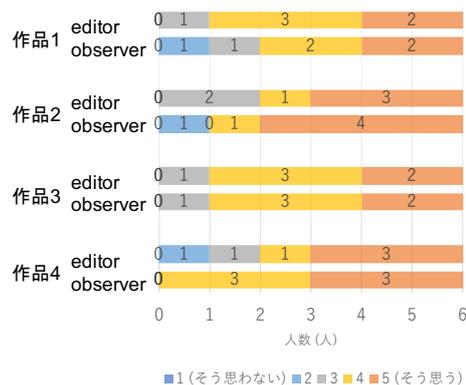


図 10 Q1 「知的な好奇心を刺激された。」に対する回答結果

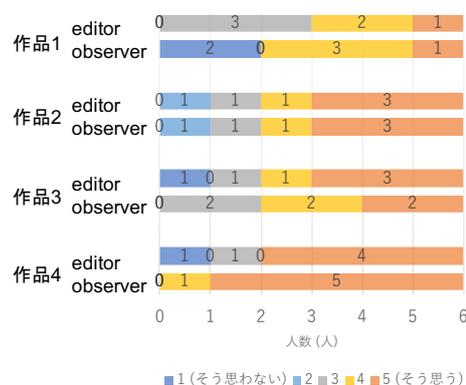


図 11 Q2 「驚いた。」に対する回答結果

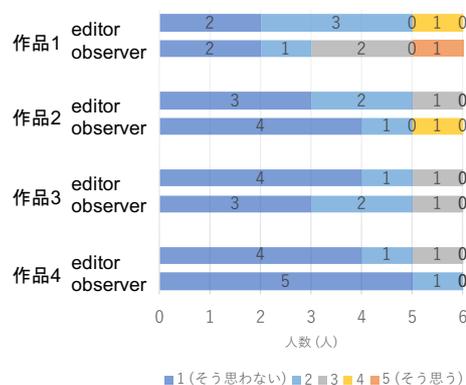


図 12 Q3 「退屈だった。」に対する回答結果

ることが示唆された。また observer にとって騙し・種明かしがタイミングよく行われることは、不可思議な現象を見るだけでなく、錯視の原理を探るといった能動的な体験に繋がるということが示唆された。

錯視の原理を理解する過程において、editor、observer が協力して探索する行動が見られた。editor と observer はそれぞれアクションが異なるため、自分ができないアクションは相手に頼む必要がある。editor 主導のグループでは、editor は observer の視点が見えているため、変形の操作を

しつつ、observerには移動するように指示をして、observerの移動に同期した形状の変化を観察していた。一方で、observerの視界が見えていて優位な立場であるeditorが主導権を握らずに、observerが主導権を握るグループがあった。このグループではobserverは種明かしされた状態では変形が観察できることを活かして、移動したらeditorに種明かしと騙しを切り替えるように指示し、再び移動する、という方法で観察していた。

本提案においてeditorとobserverに提供した操作は、騙しと種明かしをさせるために設計したものであった。過半数のグループはこの設計の通りに体験が行われたが、錯視の原理を協力して探索するという行動が見られたことから、editor、observerそれぞれが能動的なアクションを起こせることによって、ただ騙されるのではなく相手とのコミュニケーションによって錯視の謎を紐解いていくような楽しみが生まれることが示唆された。

5. 議論

5.1 インストラクション設計

実験において、editorにも新鮮な体験をさせるために事前の説明は最小限にした。その結果展示室1では、十分に体験できないグループがあった。これは、editorにobserverを驚かせる役割に徹底させ、UIを用いて丁寧に操作説明をするという方法によって解決できると考えている。

5.2 第三者視点の面白さについて

実験では、2人を1グループとしてeditorとobserverという役割を持たせて体験させたが、この2人を俯瞰して見る第三者がいたとしても面白い体験ができるのではないかと考えられる。実験者はeditorとobserverの様子を観察するにあたり、第三者と同じような体験をしたが、editorが種明かしをせずにほくそ笑む姿や、種明かしをして思い通りにobserverが驚いている様子に満足している姿は観察していて興味深かった。これは、ドッキリ番組を鑑賞することに近い体験であり、第三者視点で鑑賞させることにも価値があると考えている。

5.3 教育的な価値について

実験において、錯視現象やその原理の理解が見られたことから、本コンテンツは錯視の原理を説明したり、理解したりするための教育コンテンツとなる可能性がある。

6. 結論

本研究では観察位置によって見え方が変化する錯視において、騙す側と騙される側に分かれて体験するインタラクティブな錯視コンテンツ「Pranky Illusion Museum」を提案した。Pranky Illusion Museumを体験させる実験を行った結果、両者にとって知的好奇心を刺激し驚きを与える体験となっていたこと、両者が共に錯視現象やその原理を理解できていたことが示唆され、相手の様子を見計った行動や原

理を探索するための協力的行動などの特徴的なコミュニケーションが行われていた。今後は、インストラクションやインタフェースの改善を行うとともに、現実空間で体験するためのシステムを検討していく。

参考文献

- [1] Julian Beever's official website, <https://www.julianbeever.net/index.php>, (参照 2021-2-18).
- [2] Penrose. L. A, Penrose. R, Impossible objects: a special type of visual illusion, *British Journal of Psychology*, 49, pp. 31-33, 1958.
- [3] Impossible sculptures, <https://im-possible.info/english/art/sculpture/vyacheslav-koleychuk.html>, (参照 2021-2-18).
- [4] K. Sugihara, Design of solids for antigravity motion illusion, *Computational geometry: theory and applications*, 47, pp. 675-682, 2014
- [5] 杉原厚吉. 立体イリュージョンの数理. 共栄出版, 2006.
- [6] K. Sugihara, Evolution of Impossible Objects, 9th International Conference on Fun with Algorithms, 100, pp. 2:1-2:8, 2018.
- [7] J. Sánchez-Reyes, J. M. Chacón, How to make impossible objects possible: Anamorphic deformation of textured NURBS, *Computer Aided Geometric Design*, 78, 101826, 2020.
- [8] G. Elber, Modeling (seemingly) impossible models, *Computers & Graphics*, 35, 3, pp. 632-638, 2011.
- [9] K. Sugihara, *Machine Interpretation of Line Drawings*, The MIT Press, 1986.
- [10] K. Sugihara, Three-dimensional realization of anomalous pictures: An application of picture interpretation theory to toy design, *Pattern Recognition*, 30, 7, pp. 1061-1067, 1997.
- [11] 杜紹春, 松田浩一, 非直角のトリックを用いた不可能モーション作成システム, 日本図学会2013年度秋季大会, pp. 99-102, 2013.
- [12] 赤平かなえ, 松田浩一, 非直角のトリックを用いた不可能立体のモデリングインタフェースの検討, 情報処理学会全国大会講演論文集, 78, 4, 4135-4136, 2016.
- [13] 仲口健, 松田浩一, 3D HMDによる不可能モーションの対話的作成システムの試作, 第3回 ADADA JAPAN 学術大会, pp. 57, 2017.
- [14] 篠原祐樹, 宮下芳明, 不可能立体の写実的表現手法の提案, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2009, pp. 95-102, 2009.
- [15] 吉川祐輔, 宮下芳明, 画像パッチの組み合わせによるリアルタイム錯覚表現生成手法, 芸術科学会論文誌, 12, 1, pp. 11-23, 2013.
- [16] 中津香奈, 森谷友昭, 高橋時市郎, 錯視立体を用いたトラス状不可能図形のアニメーション手法, 45, 3, p. 359-369, 2016.
- [17] 林初実, 宮下芳明, 鑑賞位置を指定する展示作品に対する鑑賞領域拡張手法, *インタラクション2016 論文集*, pp. 278-280, 2016.
- [18] R. Ravnik, B. Batagelj, B. Kverh, F. Solina, Dynamic Anamorphosis as a Special, Computer-Generated User Interface, *Interacting with Computers*, 26, 1, pp. 46-62, 2014.
- [19] 藤木淳, 牛尾剛聡, 富松潔, 2次元動画像に対する3次元解釈の視覚特性を利用したインタラクティブだまし絵, 情報処理学会論文誌, 48, 12, pp. 3765-3711, 2007.
- [20] 藤木淳, 大和田茂, inPossible: 1人称視点と3人称視点の空間認識の違いによる違和感を知覚させるデジタルコンテンツ, *映像情報メディア学会誌*, 63, 2, pp. 152-155, 2009.