

2次元動画像に対する3次元解釈の視知覚特性を利用したインタラクティブだまし絵

藤木 淳[†] 牛尼 剛 聡^{††} 富松 潔^{††}

人間は静止した2次元画像の観測からだけでなく、2次元動画像によるキャラクタの運動表現からも3次元構造を解釈する視知覚特性を持つ。一方で、静止した2次元画像から3次元構造を解釈する際に、1つの2次元画像から推測される3次元構造が一意に定まらない場合がある。我々はこのような2次元動画像に対する3次元解釈の視知覚特性を利用したインタラクティブだまし絵表現を持つアニメーションシステム OLE Coordinate System のプロトタイプを考案した。また、プロトタイプで提案する5種類のキャラクタのだまし絵表現の評価のために被験者実験を実施した。本論文ではシステム概要と5種類のだまし絵表現について述べ、被験者実験から本だまし絵表現が鑑賞者の知的好奇心を刺激する効果とシステムの有効性を議論する。

An Interactive Optical Illusion Using the Characteristic of Visual Perception of 3D Structure Interpretation on 2D Animation

JUN FUJIKI,[†] TAKETOSHI USHIAMA^{††} and KISYOSHI TOMIMATSU^{††}

While the human has the characteristic of visual perception which recognize a 3D structure from the movement, the human may create the incorrect 3D structure by a variety of interpretation for the 2D image. Using the characteristics of visual perception, we present five interactive optical illusionary expressions of characters. Also, we produced an prototype system of OLE Coordinate System which has our optical illusionary expressions. In this paper, we introduce the OLE Coordinate System and the five character's optical illusionary expressions, and discuss the effectiveness of the proposed expressions based on the user experiment.

1. はじめに

近年、CGキャラクタアニメーションはテレビや映画等において欠かせないものとなっている。これらのキャラクタアニメーションには、実世界を模倣した表現だけでなく、誇張した表現¹⁾や視点に依存して形状が変わる表現²⁾等を用いる場合があり、だまし絵もしばしば用いられている表現である。実世界ではありえない、もしくは、ありえないと解釈させるだまし絵は、理論上実在不可能であるものが描画されているという事実から鑑賞者の好奇心を刺激する。特にこの分野の著名なアーティストである Escher³⁾の作品は一般の人々や研究者の興味の対象となっている。Escherの作品の「Ascending and Descending」(図1)や「Belvedere」(図2)に描かれている建築物は現実にはありえない幾何

学構造を持つ不可能物体がモチーフとなっている。実世界においては、鑑賞者の視線方向を限定した場合に、立体形状を不可能物体と認識させることができる^{4),5)}。しかし、視線方向を限定して見る行為は現実的でなく、鑑賞者にありえないと解釈させる体験を与えることは難しい。

動画像においてだまし絵表現を用いた作品には、Tsuruno⁶⁾の「ANIMATION OF M.C. ESCHER'S BELVEDERE」や Leow⁷⁾の「3D Illusion in Motion」があげられる。「ANIMATION OF M.C. ESCHER'S BELVEDERE」は Escher の「Belvedere」が回転し、「3D Illusion in Motion」は落ちてくるブロックが不可能物体を作っていく。インタラクティブに操作可能なだまし絵として、谷部ら⁸⁾は任意視点で鑑賞可能なネッカーキューブ不可能物体を作成し、Scott⁹⁾は Escher の「Ascending and Descending」のような無限に循環する階段を任意の視線方向から鑑賞可能とした。Scottはこれを実現するためにどの視点でも循環する階段として見えるように階

[†] 九州大学大学院芸術工学府
Graduate School of Design, Kyushu University

^{††} 九州大学大学院芸術工学府
Faculty of Design, Kyushu University

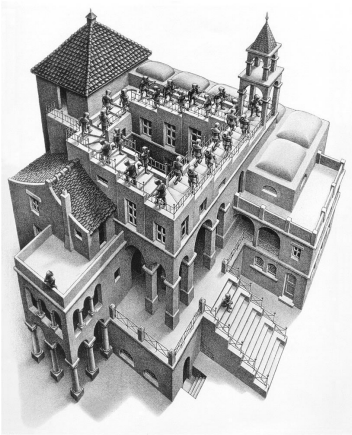


図1 Ascending and Descending
Fig. 1 Ascending and Descending.

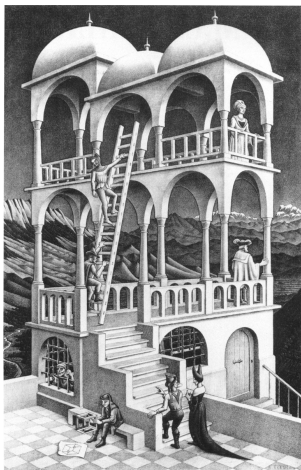


図2 Belvedere
Fig. 2 Belvedere.

段形状を変形する仕組みをとっている。これらの動画およびインタラクティブ作品も不可能物体をモチーフとしているが、視点変更を行うことで現実味を帯び、よりいっそう鑑賞者にありえないと解釈させている。

こうした様々なだまし絵表現がある中、我々はキャラクターの運動表現から3次元構造を解釈する視知覚特性に着目した。人間の視知覚系は静止した2次元画像から3次元構造を解釈することができるが、1つの2次元画像から推定される3次元構造が複数存在し、一意に決定できない場合がある。この視知覚特性は不良設定問題 (Ill-posed problem) と呼ばれているが、Bertero¹⁰⁾らは不良設定問題は情報不足により起こるとした。一方で、時間的に離散化された2次元動画像から物体構造を解釈 (Structure from Motion) することも知られている¹¹⁾。Ullman¹²⁾は動いている

物体の4点を3回見ることで、その物体の構造を解釈できることを示した。我々はキャラクターの運動表現から構造を解釈する視知覚特性と2次元画像に対する3次元構造の解釈の曖昧性を用い、2次元動画像でのキャラクターの運動表現の連続性を保持したまま、キャラクターの奥行き情報を改変したり、実際の3次元構造を無視して2次元動画像から解釈される3次元構造に対してキャラクターの運動表現を決定したりする。これにより、キャラクターの振舞いからすでに解釈していた3次元構造を別の構造と解釈させるような不思議な体験を鑑賞者に提供する。また、整合性を保っていた3次元構造を不可能物体として認識せざるをえなくする。また、鑑賞者が視点を変更し、2次元動画像から解釈される3次元構造に対するキャラクターの運動表現が変化することで、鑑賞者の知的好奇心の向上が期待できる。

我々は上記のような考え方に基づきインタラクティブ性をともなうキャラクターのだまし絵アニメーションを実現する5種類の表現手法を提案し、キャラクターの振る舞うありえない動作をインタラクティブに操作可能なOLE Coordinate Systemのプロトタイプを開発した。鑑賞者は、キャラクター、ブロック、階段、落とし穴等の構成要素を3次元空間に配置する。鑑賞者が視点を変更するとキャラクターに現実の3次元空間では起こりえない不思議な動作を実行可能である。本論文では、キャラクターのだまし絵アニメーションのための5種類の方式を提案し、被験者実験から2次元動画像から3次元構造を解釈する際に与えるゆさぶりの効果とOLE Coordinate Systemの有効性を議論する。また、OLE Coordinate Systemの概要と開発に用いた技法についても述べる。

2. OLE Coordinate System

インタラクティブのだまし絵は鑑賞者の解釈をゆさぶるような改変を与え、実世界ではありえない、都合の良いキャラクターの運動表現ができることで、鑑賞者の知的好奇心を惹きつけることができる。我々は人間を抽象化した擬人的なキャラクターの運動表現によりだまし絵の世界をインタラクティブに体験可能なアニメーションシステムOLE Coordinate Systemのプロトタイプを開発した。本章ではOLE Coordinate Systemの概要を述べる。

OLE Coordinate System は
<http://tserve01.aid.design.kyushu-u.ac.jp/~fujiki/>
よりダウンロード可能である。DirectX9c ランタイムのインストールされた Windows マシンで動作する。

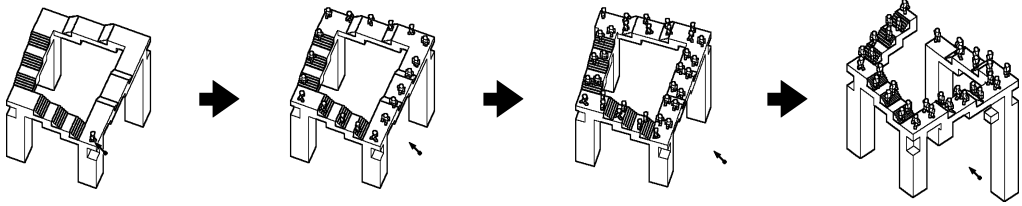


図5 EscherのAscending and Descendingに類似した例
Fig. 5 Escher's Ascending and Descending-like sample.

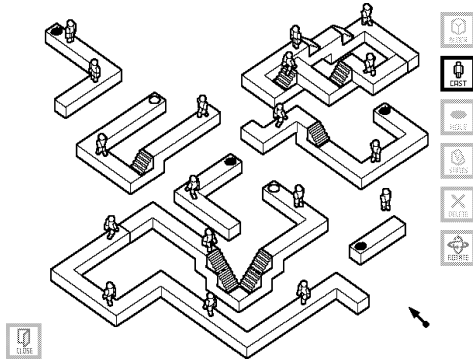


図3 OLE Coordinate Systemの画面
Fig. 3 A screen shot of OLE Coordinate System.

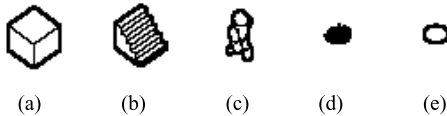


図4 構成要素となるオブジェクト
Fig. 4 Compositing objects.

本システムでは鑑賞者はブロックや階段やキャラクタ等を配置することができ、視点を変更することで、複数のキャラクタの運動表現を制御できる。図3にOLE Coordinate Systemの画面表示例を示す。キャンバス内の右サイドには、ブロック(図4(a))を配置するためのブロックツール、キャラクタ(図4(b))を配置するためのキャラクタツール、落とし穴(図4(c))を配置するための落とし穴ツール、階段(図4(d))を配置するための階段ツール、配置したオブジェクトを削除する削除ツール、視点を変更するための回転ツールが配置されている。落とし穴をマウスの右ボタンでクリックして、ジャンプ台(図4(e))に切り替えることが可能である。キャンバス内の左サイドにあるドアアイコンをクリックするとセッションが終了する。OLE Coordinate Systemは鑑賞者がだまし絵アニメーション表現に意識を集中できるように抽象化したオブジェクトを用い、輪郭のみのモノトーン描画を用いた¹³⁾。

ブロック、落とし穴、階段をオブジェクトと呼ぶ。オブジェクトはキャンバス内でマウスクリックにより配置

場所を指定する。マウスクリック位置にブロックがある場合は、ブロックや階段は側面に接するように配置され、キャラクタ、落とし穴、ジャンプ台はブロックの上面をマウスクリックしたときにこれに載るように配置される。それ以外は、原点を通り視線方向ベクトルに垂直な平面とマウスクリック位置から視線方向に向かうベクトルとの交点上に配置される。オブジェクトはグリッドに沿って配置される。

キャラクタは1ブロック先のブロックや階段の上面の中央位置を目指して自動的に移動する。キャラクタがブロック上にある場合はブロック上を移動し、階段がある場合は上り下りし、落とし穴があるときは落下、ジャンプ台があるときは飛び跳ねる。進行方向に道がない場合や分かれ道や障害物となるブロックに差しかかったときは自動的に進行方向を変更する。目標に到着した場合、周囲のオブジェクトから移動可能な地点に新しい目標を決定する。鑑賞者はオブジェクトの配置や視点変更により、図5のようなキャラクタのだまし絵表現を作成し操作することができる。

3. 移動キャラクタによるだまし絵アニメーション表現

本論文で提案するだまし絵表現は、キャラクタの運動表現から3次元構造を解釈する視覚特性と2次元画像に対する3次元構造の解釈の曖昧性を利用する。本表現では3次元構造の解釈の曖昧性を助長するために平行投影を用いている。2次元画像を鑑賞する際、人間は視覚系により、遠近法によるパースペクティブ表現を解釈して3次元形状を鑑賞している。また、平行投影による描画表現では遠近法による物体の大きさの変更を適用させないが、周囲との位置関係から奥行きを認識している。一方で、人間の視覚特性により、キャラクタの運動表現を解釈して3次元構造を推測することができる。このような場合、曖昧性の少ない情報を基にした方が3次元構造を解釈しやすくなるため、平行投影を用いた描画表現はパースを適用した描画表現に比べ、形状の位置関係よりもキャラクタの運動表現からの情報を優先して3次元形状の奥行きを

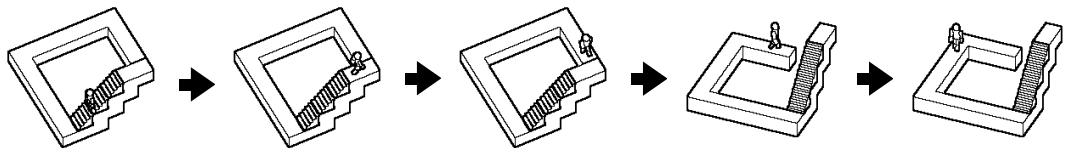


図 6 主観的移動の例

Fig. 6 Subjective translation.

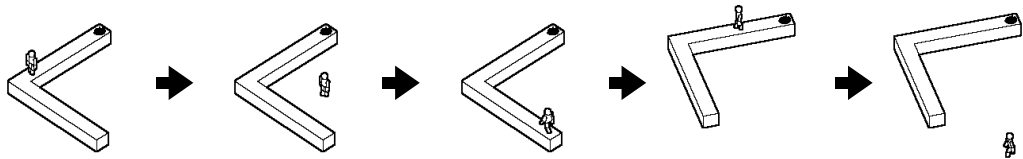


図 7 主観的着地の例

Fig. 7 Subjective landing.

認識すると考えた。平行投影による描画表現ではキャラクターの奥行きを変更しても、鑑賞者は奥行きの変化に気付かない場合がある。その結果、キャラクターの運動表現から推測された3次元構造と2次元画像から推定された3次元構造の解釈が異なる場合に、鑑賞者の解釈がゆさぶられ、鑑賞者に不思議さを感じさせられると考えた。同様に、2次元画像から推測される3次元構造を優先したキャラクターの運動表現も、それまで認識していた3次元構造と辻褃が合わないため、鑑賞者の解釈がゆさぶられ、不思議さを感じさせられることができると考えた。我々は以上のような考え方に基いて5種類のだまし絵風のキャラクターのアニメーション表現を考案し、鑑賞者の知的好奇心を刺激することを目的とした。以下にそれぞれ提案するキャラクターのだまし絵アニメーション表現について述べる。

3.1 主観的移動

3次元空間上でオブジェクトが不連続であっても、鑑賞者が2次元描画されたイメージから不連続部分が連続しているように解釈できる場合、キャラクターはあたかもオブジェクトが連続しているような連続的な移動動作を行う(図6)。これを「主観的移動」と呼ぶ。主観的移動により、鑑賞者はキャラクターが移動するオブジェクトを不可能物体として認識する場合もある。主観的移動は、キャラクターが連続しているように見えるオブジェクト間の横断時に、キャラクターを一方のオブジェクト上に存在するように視線方向に移動させるようなモデルの変更で鑑賞者の解釈のゆさぶりを実現している。

3.2 主観的着地

2次元動画像でキャラクターがオブジェクトと重なる位置にある場合に、3次元空間ではキャラクターがオブジェクト上に存在する場合と、オブジェクト上に存在しない

場合がある。本表現では3次元空間ではオブジェクト上に存在しないが、2次元動画像ではオブジェクト上に存在するように解釈できる場合に、3次元空間のオブジェクト上に存在するようにキャラクターは落下するようにした。図7は落とし穴に落ちて落下するが、3次元空間ではありえない手前のオブジェクトに着地するキャラクターの様子を示している。このように、2次元動画像でのキャラクターの運動表現からはオブジェクト上に着地していると鑑賞者が解釈する着地動作を「主観的着地」と呼ぶ。主観的着地においても、鑑賞者はキャラクターが移動するオブジェクトを不可能物体として認識せざるをえない場合もある。また、主観的着地では3次元空間ではありえない、高さの異なる平面上への落下する場合もありうる。この場合、鑑賞者はキャラクターが落下開始位置よりも高い位置への着地していると解釈する。主観的着地は、キャラクターの落下時に、キャラクターを着地予定のオブジェクトに載るように視線方向に移動させるようなモデルの変更で鑑賞者の解釈のゆさぶりを実現している。

3.3 主観的存在

3次元空間でオブジェクトが不連続であっても、2次元動画像では他のオブジェクトが不連続部分に重なって描画される場合、鑑賞者は隠れている部分にオブジェクトが連続して存在していると解釈できるように運動表現でキャラクターを移動させている。図8は連続しているように見えるオブジェクト間を移動するキャラクターの様子を示している。このように、2次元動画像でのキャラクターの運動表現からは、鑑賞者に対して、3次元空間では不連続な部分にオブジェクトが連続して存在するように鑑賞者が認識させる動作表現を「主観的存在」と呼ぶ。主観的移動との違いは、主観的移動が移動元オブジェクトと移動先オブジェクト

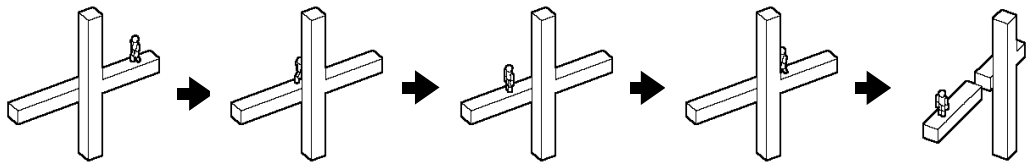


図 8 主観的存在の例
Fig. 8 Subjective existence.

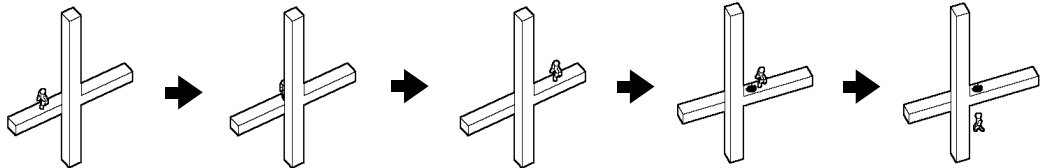


図 9 主観的不在の例
Fig. 9 Subjective absence.

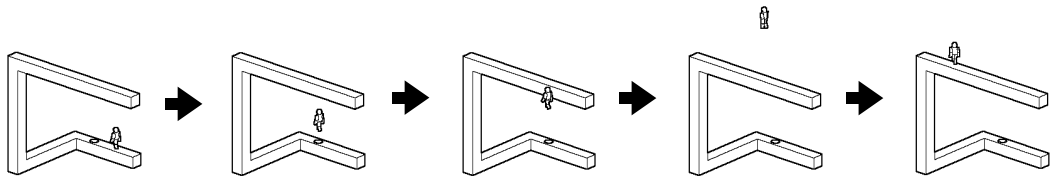


図 10 主観的跳躍の例
Fig. 10 Subjective jump.

との 2 オブジェクトの見かけ上の連続性を利用したものであるのに対し、主観的存在では不連続の移動元オブジェクトと移動先オブジェクトに対して第 3 のオブジェクトにより隠れた部分で、あたかもオブジェクトが連続しているような動作表現を行うモデルの改変で鑑賞者の解釈のゆさぶりを実現している。

3.4 主観的不在

3 次元空間でオブジェクトが存在していても、2 次元動画像では描画されないとき、オブジェクトが存在しないようにキャラクターは移動動作を行う。図 9 は 3 次元空間上には存在するが 2 次元動画像では存在しないように見える落とし穴を無視して移動するキャラクターの様子を示している。このように、2 次元動画像での運動からはあたかもオブジェクトが存在しないように鑑賞者が認識する動作表現を「主観的不在」と呼び、描画されないオブジェクトを無視するような動作表現を行うモデルの改変で鑑賞者の解釈のゆさぶりを実現している。

3.5 主観的跳躍

キャラクターが跳躍時にキャラクターの画面手前側にオブジェクトがある場合、キャラクターはオブジェクトよりも画面手前側を通るように描画される。図 10 はオブジェクトよりも画面奥側に位置するキャラクターがオ

ブジェクトの画面手前側を通る様子を示している。このように、オブジェクトとの遠近関係を無視した跳躍動作を「主観的跳躍」と呼ぶ。主観的跳躍は、キャラクターの跳躍時に、キャラクターを前面に描画するモデルの改変を行っている。

4. 実装

キャラクターの動作表現では、目標とする 1 ブロック分先のブロックや階段の上面の中央位置を目指して前進するようにした。目標とするオブジェクトに到着した場合、キャラクターの周囲 4 方向から進路方向を決定し、次に目標とするオブジェクトが選ばれるようにした。キャラクターの進路方向の決定には左手法¹⁴⁾を用いた。左手法はロボット制御で用いられることの多い手法で、下記の条件分岐で記述できる。

```

if 左方向に進行可能 then
    左に向く
else if 前方向に進行可能 then
    前に進む
else if 右方向に進行可能 then
    右に向く

```

到着した目標オブジェクト上に落とし穴がある場合

はキャラクタは落下し、ジャンプ台があるときは軌跡が弧を描くように飛び上がるようにした。このような基本動作をふまえたうえで、プロトタイプの動作表現を実現するために用いた手法を以下に述べる。不可能物体に関しては杉原¹⁵⁾が数学的な解明を試みているが、我々は簡単な幾何学変換とピクセル走査でだまし絵表現を実現した。

4.1 主観的移動

主観的移動を実現するために、不連続であるが連続しているように見えるオブジェクトに対しても進路決定の対象オブジェクトとした。本システムではオブジェクトの大きさがブロック単位であるという制限を用いて2次元画面上の連続判定を行った。具体的には、キャラクタ周囲にある可視オブジェクト中央位置のスクリーン座標とキャラクタ周囲の仮想ブロック中心位置のスクリーン座標を比較し、この位置がほぼ一致する可視オブジェクトをキャラクタの周囲にあるオブジェクトとして処理するようにした。すなわち、オブジェクトの奥行きに関係なく2次元描画イメージに基づいてキャラクタの周囲に位置しているオブジェクトを特定した。移動の際はキャラクタがそれまでに載っていたオブジェクトから離れる瞬間、目標とするオブジェクト上へ載るようにキャラクタを奥行き方向に移動させるようにした。

4.2 主観的着地

主観的着地を実現するために、キャラクタの足元のスクリーン座標から下方向に32ピクセル走査し、ピクセル描画されたオブジェクトを見つける。見つかった場合には、オブジェクト上に存在するようにキャラクタを視線方向に移動させるようにした。

4.3 主観的存在

主観的存在を実現するために、キャラクタの載っているブロックから1ブロック先はオブジェクトが存在せず、その1ブロック先にブロックが存在する場合に、空いている空間にブロックがあると仮定して、仮想ブロックを描画する。仮想ブロックはスクリーンには描画しない。仮想ブロックが描画ピクセルを持たないとき、仮想ブロックを通常のブロックと同様に移動処理するようにした。

4.4 主観的不在

主観的不在では、描画されない落とし穴やジャンプ台を無視した動作を行う。落とし穴やジャンプ台の可視状態の判定は、2次元上に描画されたピクセルの有無を調べることにより行うようにした。

4.5 主観的跳躍

主観的跳躍は、前後の奥行き判定に関係なくつねに

キャラクタを描画する仕組みによって実現した。

5. 評価

5.1 解釈のゆさぶりの効果の検証

本論文で提案するだまし絵表現が鑑賞者の知的好奇心を刺激する効果を検証するために実験を行った。被験者は男性33名、女性9名、合計44名、平均年齢19.7歳だった。本実験では、本論文で提案するだまし絵表現を有する映像を5種類、だまし絵表現を含まない映像を5種類、計10種類の表現に対して2つの質問からなるアンケート調査を行った。それぞれの映像の内容を図11に示す。(a-2)は主観的移動を示す映像であり、(a-1)は(a-2)と同一の3次元構造に対してだまし絵表現を行わない映像である。(b-2)は主観的着地を示す映像であり、(b-1)は(b-2)と同一の3次元構造に対してだまし絵表現を行わない映像である。(c-2)は主観的存在を示す映像であり、(c-1)は(c-2)と同一の3次元構造に対してだまし絵表現を行わない映像である。(d-2)は主観的不在を示す映像であり、(d-1)は(d-2)と同一の3次元構造に対してだまし絵表現を行わない映像である。(e-2)は主観的跳躍を示す映像であり、(e-1)は(e-2)と同一の3次元構造に対してだまし絵表現を行わない映像である。図中の点線はキャラクタの軌跡を示す。映像は同じ運動表現が3回繰り返され、3回目で視点が回転し正確な3次元構造が示される。提示順序による影響を排除するために(a-1)(a-2)(b-2)(b-1)(c-1)(c-2)(d-2)(d-1)(e-1)(e-2)の順で提示した。被験者は1つの映像を見た後質問に答え、次の映像を見る。質問1の内容は「キャラクタの動作はあなたの知的好奇心を刺激しますか?」に対して5段階で評価してもらった。回答項目は「まったく刺激しない」、「刺激しない」、「どちらともいえない」、「刺激する」、「非常に刺激する」であり、(-2)から(+2)の値を割り当てた。質問2の内容は「このようなキャラクタの動作は3次元構造から可能だと思いますか?」に対して5段階で評価してもらった。回答項目は「まったく不可能である」、「不可能である」、「どちらともいえない」、「可能である」、「まったく可能である」であり、(-2)から(+2)の値を割り当てた。

質問1の平均値が高い順序で並べた結果を図12に示す。四角形の上端と下端は第25分位点と第75分位点を示し、四角形の中央に引かれている線は中央値を示し、ひし形は標本平均と95%信頼区間を示し、四角形から出ている上下の線は最大値と最小値を示す。結果はだまし絵表現を持つものの平均値はだまし絵表現

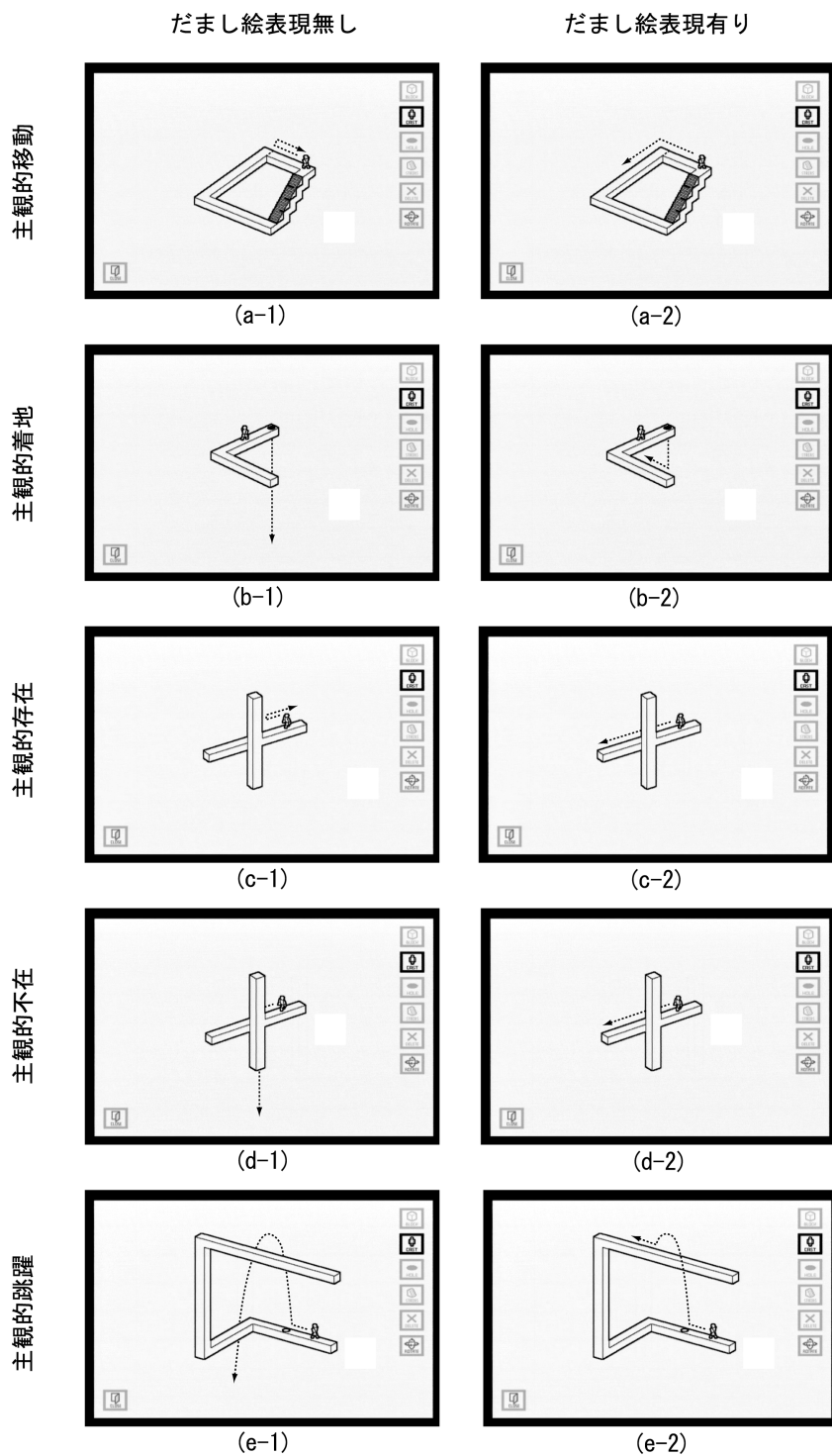


図 11 実験に使用した映像の概要
 Fig. 11 Movies for experiment.

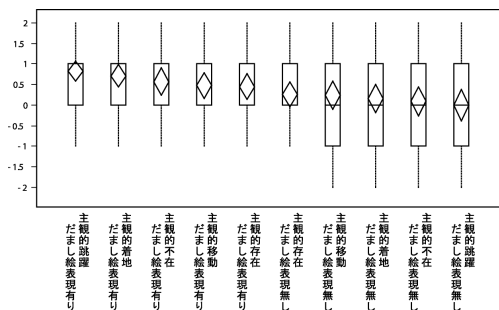


図 12 鑑賞者の知的好奇心に与える影響の度合い

Fig. 12 Degree of optical illusion expression effectiveness for observer's curiosity.

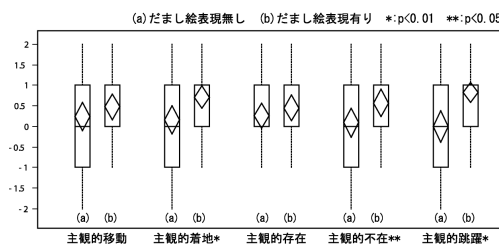


図 13 鑑賞者の知的好奇心に与える影響の比較

Fig. 13 Comparison of optical illusion expression effectiveness for observer's curiosity.

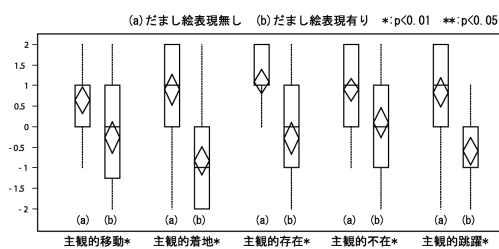


図 14 キャラクタ動作の3次元空間での実現性

Fig. 14 Feasibility of character's movement in 3D space.

がないものの平均値をすべて上回った。

次に、質問 1 に対して同一の 3 次元構造におけるだまし絵表現の有無に関する有意差検定を行った結果を図 13 に示し、質問 2 に対して同一の 3 次元構造におけるだまし絵表現の有無に関する有意差検定を行った結果を図 14 に示す。質問 1 においては、主観的着地と主観的跳躍は有意水準 1% で有意差が認められた。主観的移動と主観的存在は有意差が認められなかった。質問 2 においてはすべてのだまし絵表現に有意差水準 1% で有意差が認められた。特に主観的着地と主観的跳躍は強い有意差を示している。質問 2 の結果は、5 種類のだまし絵表現を持つ映像に対して、キャラクターの運動表現が与えられた 3 次元構造上で起こりえないことを被験者が認識していることを示している。

結果から、主観的着地と主観的跳躍は鑑賞者の知的好奇心を刺激する非常に有効な表現手法であることが示された。一方で、質問 1 において、主観的移動と主観的存在の有意差が認められなかった。主観的不在に関しては有意水準 5% で有意差が認められたが、主観的着地と主観的跳躍に比べ知的好奇心を刺激する効果は高くなかった。この理由として、主観的移動と主観的存在と主観的不在に関しては、視点が回転し正確な 3 次元構造が示されるまで、被験者の 3 次元構造の解釈に曖昧性があるためと考えられる。主観的移動に関しては不可能物体に見えるため解釈に曖昧性があり、主観的存在と主観的不在に関しては隠蔽された部分の解釈が一意に定まらないため曖昧性がある。3 次元構造の解釈に曖昧性が多い場合に、キャラクターの運動表現によって鑑賞者にもたらされる解釈のゆさぶりの度合いが小さくなるためだと考えられる。このことから、3 次元構造を鑑賞者に正確に解釈できるような提示手法をとることで、解釈のゆさぶりの効果を高められると考えられる。

5.2 システムの全体的な評価

次に、OLE Coordinate System の有効性を検証するために実験を行った。被験者は男性 35 名、女性 9 名、合計 44 名、平均年齢 19.7 歳だった。本実験では、OLE Coordinate System の操作方法、だまし絵表現を紹介した後、OLE Coordinate System を 10 分間体験してもらい、2 つの質問からなるアンケート調査を行った。質問 1 の内容は「形状は思ったおりに操作できましたか？」に対して 5 段階で評価してもらった。回答項目は「まったくできなかった」、「できなかった」、「どちらともいえない」、「できた」、「まったくできた」であり、(-2) から (+2) の値を割り当てた。質問 2 の内容は「キャラクターの動作はあなたの知的好奇心を刺激しましたか？」に対して 5 段階で評価してもらった。回答項目は「まったく刺激しなかった」、「刺激しなかった」、「どちらともいえない」、「刺激した」、「非常に刺激した」であり、(-2) から (+2) の値を割り当てた。

質問 1 と質問 2 の結果を図 15 に示す。質問 1 の平均は 0.29 であり、平均の上側 95% 信頼限界は 0.55、平均の下側 95% 信頼限界は 0.03 であった。質問 2 の平均は 1.02 であり、平均の上側 95% 信頼限界は 1.24、平均の下側 95% 信頼限界は 0.81 であった。結果からは、形状生成の操作性は大きな問題はないと思われるが、優れているとはいえない。一方で、被験者はシステムを体験することで知的好奇心が刺激されていることから、本システムの有効性が示された。

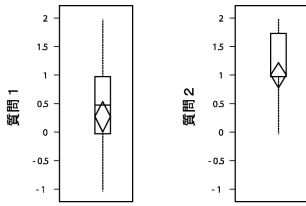


図 15 システムの操作性と知的的好奇心に与える影響

Fig. 15 System usability and optical illusion expression effectiveness for observer's curiosity.

6. ま と め

本論文では、キャラクタの運動表現から 3 次元構造を解釈する視覚特性と 2 次元動画像に対する 3 次元構造の解釈の曖昧性を用いたインタラクティブ性をともなう 5 種類のだまし絵表現を提案した。評価のためにだまし絵表現を持つアニメーションシステム OLE Coordinate System のプロトタイプを開発し被験者実験を行った。その結果、主観的着地と主観的跳躍は 2 次元動画像から 3 次元構造を解釈する際に与えるゆさぶりの効果が認められ、鑑賞者の知的的好奇心を刺激する有効な表現であることが示された。一方で、主観的移動と主観的存在と主観的不在が、主観的着地と主観的跳躍に比べ知的的好奇心を刺激する効果は高くなかったことは、3 次元構造の解釈の曖昧性が多い場合に、キャラクタの運動表現によって鑑賞者にもたらされる解釈のゆさぶりの度合いが小さくなるためだと考えられる。3 次元構造を鑑賞者に正確に解釈できるような提示手法をとることで、解釈のゆさぶりの効果を高め、鑑賞者の知的的好奇心を強く刺激できると考えられる。また、OLE Coordinate System の形状生成の操作性は大きな問題はないが、システムを体験することで鑑賞者の知的的好奇心が刺激されていることが示され、本システムの有効性が示された。操作性の向上は今後の課題である。

我々は知的的好奇心を刺激する要素はインタフェースにおいても重要であると考えている。前研究において Incompatible BLOCK と呼ぶだまし絵のような操作インタフェースを持つブロックベースモデリングソフトを開発し、ユーザ評価を行った¹⁹⁾⁻²¹⁾。Incompatible BLOCK は正確な入力には適さないが、鑑賞者のモチベーションを引き出し初心者でも操作に集中できたことが分かった。実世界ではありえないと解釈させるだまし絵表現は直感的ではないが鑑賞者のモチベーションを向上するため、だまし絵のような表現を持つインタフェースは、作業効率の向上を提供できると考えている。鑑賞者の知的的好奇心を刺激する表現を

追及するとともに、実世界ではありえない表現のインタフェースへの適用について検討する予定である。

参 考 文 献

- 1) Kobayashi, M., Kondo, K. and Sato, H.: Emphasized expressions using motion filter in creating animation, *Proc. 8th ICECGDG Conference*, Vol.4, pp.67-74 (1998).
- 2) Rademacher, P.: View-dependent geometry, *Proc. ACM SIGGRAPH 99*, pp.439-446 (1996).
- 3) B・エルンスト, 坂根巖夫: エッシャーの宇宙, 朝日新聞社出版局 (1983).
- 4) 福田繁雄: 福田繁雄が語るエッシャーの世界, Nippon Television Network Corporation. <http://www1.ntv.co.jp/escher/blog/2006/11/24-405.html>
- 5) Lipson, A.: ASL's LEGO Page. <http://www.andrewlipson.com/lego.htm>
- 6) Tsuruno, S.: ANIMATION OF M.C. ESCHER'S BELVEDERE, *ACM SIGGRAPH'97 Electronic Theater #237* (1997).
- 7) Leow, Y.S.: 3D Illusion in Motion, *ACM SIGGRAPH2006 Animation Theater #180* (2006).
- 8) 谷部好子, 藤波 努: 図形操作行動に見られる共通性—インタラクティブ不可能図形を用いた実験, *インタラクシオン 2001*, pp.61-62 (2001).
- 9) Scott, M.W.: Implementing the continuous staircase illusion in opengl, *ACMSIGGRAPH 2002 Sketches&Applications #200* (2002).
- 10) Bertero, M., Poggio, T.A. and Torre, V.: Ill-posed problems in early vision, *Proc. IEEE*, Vol.76, pp.869-889 (1988).
- 11) Wallach, H. and O'Connell, D.N.: The kinetic depth effect, *Journal of Experimental Psychology*, Vol.45, pp.205-217 (1953).
- 12) Ullman, S.: *The Interpretation of Visual Motion*, p.148, The MIT Press (1979).
- 13) Gooch, A. and Gooch, B: *Non-Photorealistic Rendering*, A.K. Peters (2001).
- 14) 芝浦工業大学ロボティクス研究室: 左手法. <http://www.robotics.ee.shibaura-it.ac.jp/manual/chap4/L.HANDexp.htm>
- 15) 杉原厚吉: 不可能物体の数理, 森北出版 (2005).
- 16) 藤木 淳, 牛尼剛聡, 富松 潔: OLE Coordinate System: インタラクティブだまし絵, *インタラクシオン 2007*, pp.39-40 (2007).
- 17) 2006 アジアデジタルアート大賞展実行委員会: 2006 ASIA DIGITAL ART AWARD — 作品紹介. http://adaa.jp/2006/j/13_work.html
- 18) CG-ARTS 協会: 平成 18 年度 (第 10 回) 文化庁メディア芸術祭受賞作品一覧 — 文化庁メディア

芸術プラザ . <http://plaza.bunka.go.jp/festival/sakuhin/index.html>

- 19) Fujiki, J., Ushiyama, T. and Tomimatsu, K.: A View-Oriented Interface for Block-Based Modeling, *ACM SIGGRAPH2006 Sketches Artile*, No.164 (2006).
- 20) Fujiki, J., Ushiyama, T. and Tomimatsu, K.: Incompatible BLOCK: Wonders Accompanied Interface, *ACM SIGCHI2006 Work-in-Progress*, pp.779-784 (2006).
- 21) Fujiki, J., Ushiyama, T. and Tomimatsu, K.: Incompatible BLOCK: Incompatible block: Wonders accompanied interface, *ACM SIGGRAPH2006 Emerging Technologies*, Artile No.16 (2006).

(平成 19 年 4 月 5 日受付)

(平成 19 年 9 月 3 日採録)



藤木 淳 (正会員)

1978 年 2 月 3 日生まれ . 2000 年九州芸術工科大学芸術工学部工業設計学科卒業 . 2002 年九州芸術工科大学大学院芸術工学研究科生活環境専攻博士課程前期修了 . 3 次元 CG ソフトウェア開発 , TV 局営放管理システムの開発業務を経て , 2004 年九州大学大学院芸術工学府芸術工学専攻博士課程後期入学 , 2007 年修了 . 芸術工学博士 (芸術工学) 九州大学 . 現在 , 九州大学大学院芸術情報設計学科学術研究員 . 「豊かなエクスペリンス創成のためのメディア芸術表現の開発」を研究テーマとする .



牛尼 剛聡 (正会員)

1999 年名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程後期課程満了 . 博士 (工学) 名古屋大学 . 1999 年九州芸術工科大学芸術工学部助手 . 現在 , 九州大学大学院芸術工学研究

院助教 .



富松 潔

九州芸術工科大学工業設計学科卒業 . 英国王立芸術大学院コンピュータリレイテッドデザインコース PEP 修了 . 博士 (芸術工学) , 三洋電機総合デザインセンター勤務英国駐在を経て , 1994 年九州芸術工科大学講師 , 現在は九州大学大学院芸術工学研究院教授 .