

### 3DCGによる浮世絵構図法

#### A Method for Transformation of 3D Space into *Ukiyo-e* Composition

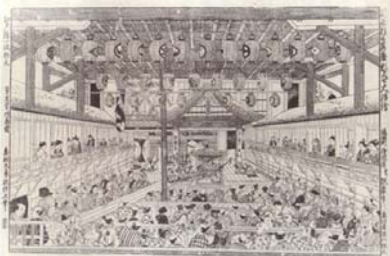
久保友香† 趙捷† 宇佐美貴徳† 広田光一†  
Yuka Kubo Sho Cho Takanori Usami Koichi Hirota

## 1. はじめに

1739年、西洋の透視図法が、中国を経て日本に伝来した。それまでの、「やまと絵」と言われる日本の絵画は、建築的空間は平行投影で描かれており、江戸時代に大衆の間で人気を博した浮世絵もそうであった。1739年に透視図法が伝来すると、浮世絵師達は一度は透視図法を取り入れた浮世絵(浮絵と呼ばれる)を描くようになるものの、短い期間で終わり[黒田1917][岡1992][岸1994]、1800年以降になると透視図法に従わない独自の構図で描かれるようになった[岡1984][横池1995][小山1996]。この頃の葛飾北斎や歌川広重などによる作品が、1860年代のジャポニズムでは、西洋にも影響を与えることになる。



a. 透視図法伝来以前の劇場図(1731)



b. 透視図法を取り入れた時期の劇場図(1740)

図1 奥村政信による劇場図

浮世絵に見られる透視図ではない構図が、鑑賞者に特別な視覚的な効果を与えることは、美学の研究者によっても検証されている[若桑, 1987][高階, 1991][諏訪, 1998]。一方、構図生成を支援する技術の歴史を見ると、カメラオブスクラ、写真、3DCGなど、常に透視図法を原理としている。生産性向上のために技術を導入するほど、浮世絵に見られたような透視図でない構図は、失われやすくなる。

そこで、日本の浮世絵に見られた歴史的変化を、本研究では3DCGによって再現する。江戸時代の浮世絵は、広告、報道、娯楽、観光土産、記録など様々な用途で用いられ、空間を描いたものや人物のみを描いたものがあるが、本研究は建築的空間を描いた浮世絵に焦点をあてる。本研究の目的は、建築的空間を描いた浮世絵の構図を3DCG技術によって再現することであり、第一に、浮世絵の構図の分析をし、1800年以降の浮世絵の構図の特徴を明らかにした。第二に、この特徴を反映させた構図を「浮世絵構

図」と定義し、透視図から「浮世絵構図」に変換するための「浮世絵構図法」を構築した。第三に、構築した構図法を定量的に検証するため、写真や絵画の透視図を浮世絵構図に変換するプログラムを開発した。本稿はその内容を記す。

構図生成を支援する技術の歴史を見ると、カメラオブスクラ、写真、3DCGなど、常に透視図法を原理としている。現在、3DCGアニメーションが世界のアニメーション市場では中心になっているが、日本市場では2Dアニメーションが中心である。今後は、3DCG技術を用いた方が生産性を高められるため、日本のスタジオは3DCG技術を用いながら、2Dアニメーションで国際競争力を得てきた日本独自の表現を展開する方法を模索している。江戸時代の浮世絵において透視図法導入の歴史を分析することは、現代の日本のアニメーションにおける3DCG技術導入の戦略にとっても有効である。

## 2. 先行研究

3DCG技術を利用して、透視図法に従わない構図を描く試みは、中国の風景画やキュビズムの作品、M.C.エッシャーの作品の構図を、3DCGで再現しようとする試みとして、先行研究がある。それらは大きく2種類に分類され、第一はイメージワーピングの手法、第二はパノラマの手法である。

イメージワーピングの手法は、デジタル画像を変形する基本的な手法であり[Wolberg 92, Beier92]、素材は2Dであり、それを3次元で変形させる。本研究と同様に、写真を材料とする例もある[Zorin95]。

パノラマの手法は、古くからセルアニメーションで用いられていた方法で、2Dの画像に対し、視点を3次元的に変化させて得る投影画像を合成させる[Rademacher98]。中国の風景画は、パノラマの手法で再現できると言われている[Chu01][Vallance01]。パノラマの手法を活用する先行研究でも、写真を素材とする例が多くあるが、複数枚の撮影画像を用いることになる。本研究のように、一枚の写真を用いて変形する例はない。

以上のような、透視図法に従わない構図を描く試みの中で、浮世絵の構図を生成しようとする研究は少ない。マルチパースペクティブの絵画を生成する技術の開発をするSinghが、あらゆる絵画は部分に分解すれば透視図法になると述べた後に、例外として日本の古い版画を挙げていることから、日本の浮世絵が特別な例であるとわかる[Singh2002]。浮世絵を扱う先行研究には、小沢による浮世絵合成システムの開発がある。小沢は、浮世絵では形状は、要素に無関係に同じ形状に描かれ、大きさは、遠くにあるものは小さく、近くにあるものは大きく描かれるため、多くの作品の縮小率を収集している。また、浮世絵の構図を「遠近法偏差」という指標で測定を行っている。作品に関するデータの収集が詳細になされ、既存の浮世絵作品の再現をすることの可能性を高めているが、浮世絵の構図の

特徴を標準化し、浮世絵の構図を描くための標準的な構図法の構築には触れられていない [小沢, 1993]。

本研究は、浮世絵の構図を写真や他の絵画を作成するため、浮世絵の構図の特徴を標準化し、3DCGを用いて簡単に、その特徴を反映させた構図を生成するための構図法を提案する。

### 3. 浮世絵の構図の特徴

建築的空間を描いた浮世絵の構図の特徴を明らかにするため、次に記す分析を行った。透視図では、空間において平行な直線、例えば建物の床と天井の線などは一点で交わり、それを消失点と呼ぶが、浮世絵の構図では一点で交わらない。そこでまず、浮世絵における、空間において平行な直線の交点の、透視図の場合の交点とのずれを視覚化した。(図2) その結果、浮世絵では、平行線は一点では交わらないものの、左右の各側面に含まれる平行線は、それぞれ特定の領域に収束していることが明らかになった。これより、浮世絵の構図の透視図に対するずれは、左右側面に含まれるすべての平行線を調べなくても、それぞれの上下辺を調べることで特徴を明らかにできるとわかった。



図2 3次元のいて平行な直線群の描画

そこで、とくに、1800年以降の浮世絵について、左右側面の上下辺4辺を抽出し、画面左右の2辺によって囲まれる、2つの三角形の寸法、図3の  $w_a'$ ,  $w_b'$ ,  $h_a'$ ,  $h_b'$ ,  $h_{gh}'$ ,  $h_{ij}'$  を測定して定量的に分析した結果、左側面の平行線の収束点は左側に、右側面の平行線の収束点は右側に、2点が離れていることがわかる。よって、1800年代以降の浮世絵の構図の特徴は近似的に、左右側面がそれぞれ消失点を持ち、2つが左右に離れていると説明することができる。この特徴を、浮世絵構図の定義とした。(図4参照)

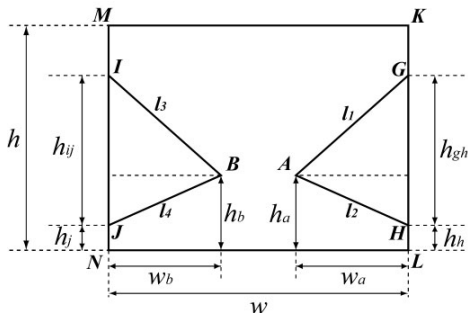


図3 構図の定量分析における指標

### 4. 浮世絵構図法

3の分析結果をもとに、透視図を一度3次元に復元し、3次元の立体の側面を変形させず移動させることによって、

浮世絵構図に変換する、浮世絵構図法を構築した。浮世絵構図法の具体的な内容は下記である。

まず、元となる透視図(図5の①)を復元して直方体空間を作る。(図5の②)次に、左右側面それぞれを、鉛直方向または水平方向または奥行き方向を軸に回転させる。

(図5の③)できた立体を、最初に復元したのと同じ視点で、同じスクリーンに透視投影させ、浮世絵構図(図5の④)を生成する。

このときの回転角度は、透視図と浮世絵構図を同じ形状に変形させた時の、透視図を復元した直方体の側面の法線ベクトルと、浮世絵構図の側面を復元した3次元上の平面の法線ベクトルの向きとの関係で決まる。浮世絵構図の左右側面それぞれを復元させた面の法線ベクトルは、各浮世絵構図の特徴を表すパラメーターである。

透視図を復元した直方体の左右側面それぞれの法線ベクトルの単位ベクトルを  $e_{pl}$ ,  $e_{pr}$ 、浮世絵構図の左右側面それぞれを復元した平面の法線ベクトルの単位ベクトルを  $e_{ul}$ ,  $e_{ur}$ 、とし、鉛直方向を軸とした左右側面の回転角度を  $\alpha_l$ ,  $\alpha_r$ 、水平方向を軸とした左右側面の回転角度を  $\beta_l$ ,  $\beta_r$ 、奥行き方向を軸とした回転角度を  $\gamma_l$ ,  $\gamma_r$  とし、その回転を表す  $3 \times 3$  行列を  $R_{\alpha_l}$ ,  $R_{\alpha_r}$ ,  $R_{\beta_l}$ ,  $R_{\beta_r}$ ,  $R_{\gamma_l}$ ,  $R_{\gamma_r}$  とすると、二つの法線ベクトルの関係は次式で表され、4つの法線ベクトルがわかれば、6つの回転角度を導くことができる。

$$e_{ul} = R_{\gamma_l} R_{\beta_l} R_{\alpha_l} e_{pl}$$

$$e_{ur} = R_{\gamma_r} R_{\beta_r} R_{\alpha_r} e_{pr}$$

また、側面の法線ベクトルは次のように求められる。まず図から側面に含まれる建物とみなせる4角形 ABCD を抽出し、点 A, B, C, D を復元した点 A', B', C', D' の座標を求める。点 A', B', C', D' は、直線 EA, EB, EC, ED (E は視点) 上にあるので、 $OA' = OE + sEA$ ,  $OB' = OE + tEB$ ,  $OC' = OE + uEC$ ,  $OD' = OE + vED$ , (s, t, u, v はパラメーター、OA, OB, OC, OD, OE, EA, EB, EC, ED はベクトルをあらわす) と表せる。また、点 A', B', C', D' は長方形であるので、A'C' と B'D', A'B' と C'D' は平行、A'B' と A'C', D'B' と D'C' は垂直であるという条件から s, t, u, v が求められると、点 A', B', C', D' の座標がわかる。A'B' と A'C' の外積が、求める法線ベクトルである。ただし、この連立方程式からは、比の異なる全ての四角錐 E-A'B'C'D' が求められるが、法線ベクトルは一つに定まる。

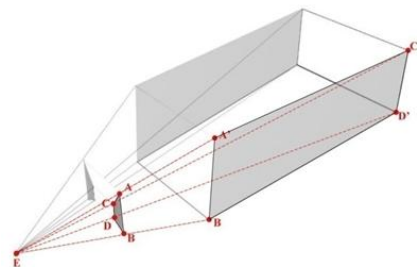


図6 浮世絵の復元

### 5. 浮世絵構図への変換プログラム

構築した浮世絵構図法を検証するため、建築的空間を表す写真や絵画などの透視図を、指定した浮世絵構図に変換

するプログラムを開発した。以下のような操作手順で、浮世絵構図に変換するプログラムである。

ユーザーは、最初に、縦横比を 1 : 1 に変形した透視図の絵画または写真を取り込む。次に、透視図に描かれた建築物に合うように、直方体を透視投影したフレーム（パースペクティブボックス）を設定する。次に、透視図の画像の、左側面、右側面、底面、背景面の領域を塗り分ける。最後に、変換したい浮世絵構図を選択する。このような操作を行うと、3次元に復元された透視図の左右側面が、下辺と画面枠との交点を中心に、浮世絵構図ごとに決まる回転角度で回転し、底面と背景面は左右側面の回転に合わせて変形した、浮世絵構図が生成する。

- 領域選択機能——画像の左側面、右側面、底面、背景面、前景など各領域どちらが操作対象であるか指定することが実現する
- 絵筆の大きさと消しゴム選択機能——画像の左側面、右側面、底面、背景面、前景など各領域をよほどよい塗るために、絵筆の大きさならびに消しゴムの機能を提供する
- フレーム変換機能——透視図に描かれた景色に合わせるように、高い自由度でフレームを変換する機能を提供する
- 浮世絵変換機能——指定される透視図は好きな浮世絵の非透視構図に変換する機能を提供する
- システム機能——目前各領域を塗り分けるやり方の記録、現行各領域を塗り分けるやり方の読み込みあるいはパラメータ数値の輸出などのシステム機能が実現する

プログラムによる計算の結果、写真を葛飾北斎の『深川橋』の構図に変換すると、図7のようになる。変換後写真、透視図で描かれた最後の晩餐を変換したのが、図8である。

## 6. まとめ

構図の生成を支援する技術は歴史的に透視図法を原理とするものが中心であり、CG技術も同様である。しかし本研究は、日本絵画の歴史において浮世絵が透視図を一度導入しながらも、それに従わなくなった事実をなぞり、定量的に分析して特徴を抽出することによって、3DCG技術によって浮世絵のような透視図でない構図を作る方法を得た。具体的には、透視図を一度3次元に復元し、3次元の立体の側面を変形させず回転移動させる方法によって、浮世絵の特徴を持つ構図を、近似的に作れることがわかった。透視図が鑑賞者の視点を消失点に導くのに対し、透視図をこの構図に変換した画像は、鑑賞者の視点を限定しないことが考えられる。(図8参照)例えば『最後の晩餐』をこの構図に変換すると、原画では中央の人物に視点が導かれるが、変換した図では中央以外の人物にも視点が行くようになることが考えられる。浮世絵は細部にまで分散的に情報が含まれていることが多く、そのため透視図は適さなかったのかもしれない。

この構図法は、対象と視点を分離して定義しているため、視点を移動させるアニメーションにも利用できる可能性を持っている。



図7 変換プログラムのインターフェース

## 参考文献

- [Singh2002] K. Singh. A Fresh Perspective, GraphicsInterface,2002, 17-24, 2002.
- [Wolberg 92]George Wolberg. Digital Image Warping. IEEE Computer Society Press, 1992.
- [Beier92] T. Beier and S. Neely. Feature based imagemetamorphosis.Computer Graphics, 26(2):35-42, 1992.
- [Zorin95] D. Zorin and A. Barr. Correction of GeometricPerceptual Distortion in Pictures. Computer Graphics,257-264, 1995.
- [Chu01] S. H Chu and C. L. Tai. Animating Chinese Landscape Paintings and Panorama using Multi-Perspective Modeling, Proceedings of Computer Graphics International 2001, Hong Kong, IEEE Press,2001.
- [Vallance01]S. Vallance and P. Calder. Multiperspectiveimages for visualization, ACM International Conference Proceeding Series, 147, 69-76, 2001.
- [Rademacher98] P. Rademacher and G. Bishop.Multiple-Center-of-Projection Images. SIGGRAPH, 199-206, 199
- [小沢,1993]小沢一雅：浮世絵合成システム PICS の構成, 人文科学とコンピュータ, Vol120, No. 6, pp.45-52, 1993.
- [小沢,2003]小沢一雅：遠近法尺度からみた浮世絵の一考察, 情報処理学会研究報告, 2003-CH-58, pp.9-15, 2003.
- [諏訪,1998]諏訪春雄：日本人と遠近法, ちくま新書, 1998.
- [高階,1991]高階秀彌：日本美術を見る眼 東と西の出会い, 岩波書店, 1991.
- [若桑,1987]若桑みどり：遠近法, 日本美術史事典, 平凡社, 1987.
- [黒田,1917]黒田源次：西洋の影響を受けたる日本畫, 中外出版, 1917年.
- [岡,1992]岡泰正：めがね絵新考 浮世絵師たちがのぞいた西洋, 筑摩書房, 1992年.
- [岸,1994]岸文和：江戸の遠近法—浮世絵の視覚—, 勁草書房, 1994年.
- [岡,1984]岡泰正：眼鏡絵と東海道五拾三次展, 神戸市立博物館編, 1984年.
- [横池,1995]横地清：遠近法で見る浮世絵 政信・応挙から江漢・広重まで, 三省堂, 1995年.
- [小山,1996]小山清男：幻影としての空間—図学からみた東西の絵画—, 東信堂, 1996年.

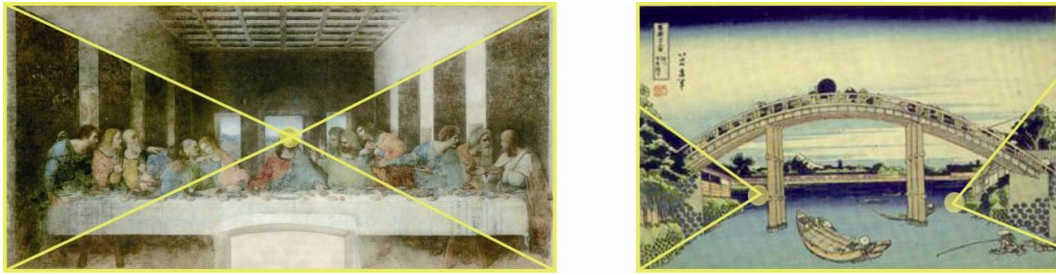


図4 透視図と浮世絵構図

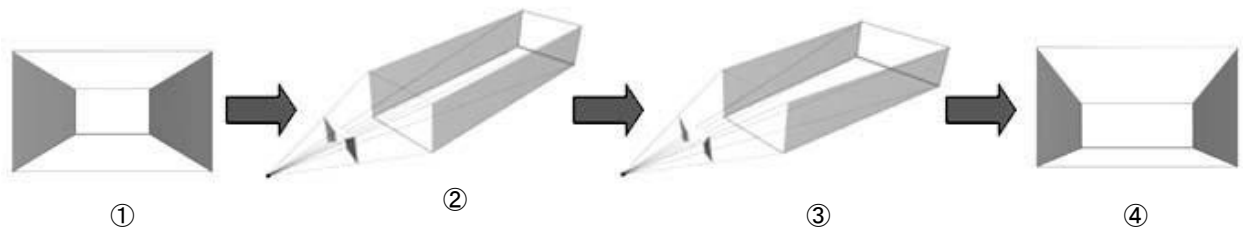


図5 浮世絵構図法

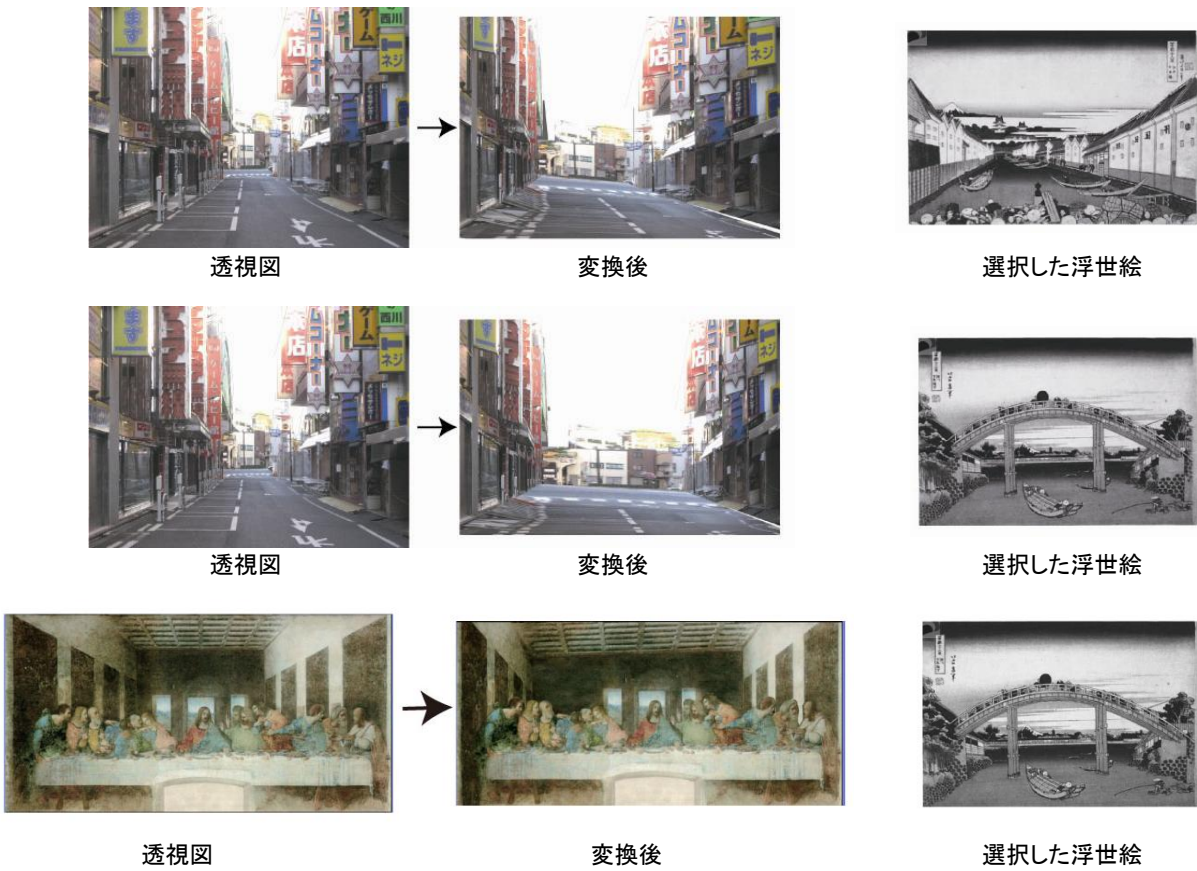


図8 透視図の浮世絵構図への変換