

### 4.3.3 鉛直・水平・奥行き方向を軸とした角度変数による再構成の模型による実証

#### 4.3.3.1 目的

3次元の直方体モデルを基準とし、鉛直・水平・奥行き方向を軸とした左右側面の回転角度を変数として、浮世絵の非透視図を再現できることを模型によって実証するため、例として2作品を選び、次のことを目的とする。

- 1) 浮世絵作品 12 の構図を再現することができる、回転角度を導出する。
- 2) 浮世絵作品 8 の構図を再現することができる、回転角度を導出する。

※作品 12 : 葛飾北斎「北斎漫画『三ツわりの法』」

作品 8 : 鳥居清忠「無題 (浮絵吉原大門口)」

#### 4.3.3.2 実験装置

##### (1) 水平方向を回転軸

直方体モデルを基準とし、左右側面の底面に接する頂点のうちの、カメラに近い2頂点を結ぶ直線を基軸とした回転ができるようにする。鉛直方向下向き回転の場合、左右側面のカメラに近い辺と、カメラ位置を、鉛直方向上向きに移動する。上向きの移動のためには、台を利用する。また、鉛直方向上向き回転の場合、左右側面のカメラから遠い辺を、鉛直方向上向きに移動する。この場合も、台を利用する。

回転角は、鉛直方向下向き回転を正とし、 $\beta$  とする。底面のボードの奥行き方向の長さ  $D$  と、鉛直方向上向きの移動距離  $H$  を計測し、次式によって  $\beta$  を求める。

$$\tan \beta = \pm \frac{H}{D}$$

(鉛直方向下向き回転の場合  $\tan \beta > 0$ 、鉛直方向上向き回転の場合  $\tan \beta < 0$ )

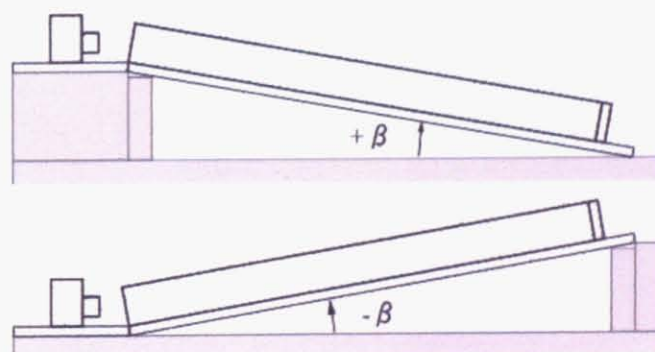


図 4-28 水平方向を回転軸とした角度調整の立面図

(2) 奥行き方向を回転軸

直方体モデルを基準とし、左右側面の底面に接する奥行き方向の辺を基軸とした回転ができるようにする。この場合、側面を立てるために裏側で固定する部品を、直方体モデルで用いる金折ではなく、扇型に開いたクリップとする。

両側面が遠ざかるような回転を正として、右側面の回転角を $\gamma_r$ 、左側面の回転角を $\gamma_l$ とする。扇形の角度は分度器を用いて計測する。

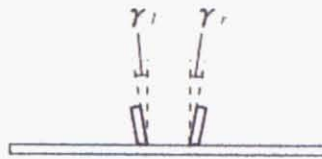


図 4-29 奥行き方向を回転軸とした角度調整の断面図

4.3.3.3 葛飾北斎の作品例の構図の再現

(A) 目的

浮世絵作品 12 の構図を再現することができる、回転角度を導出するため、次を目的とする。

- 1) 4.3.2.3 の結果に従い、鉛直方向を軸に左右側面をそれぞれ遠ざかるように  $10^\circ$  回転させることによって、作品 12 の構図の横方向の性質を再現できることを検証する。
- 2) 作品 12 の構図の縦方向の性質も再現できるような、奥行き方向、水平方向を軸とした左右側面の回転角度を導出する。

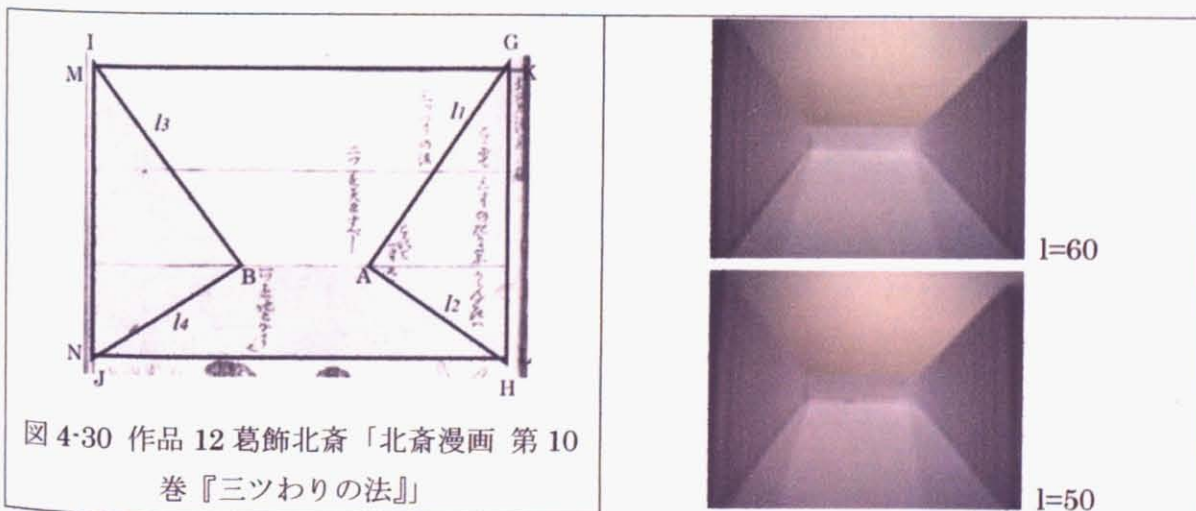


図 4-30 作品 12 葛飾北斎「北斎漫画 第 10 卷『三ツわりの法』

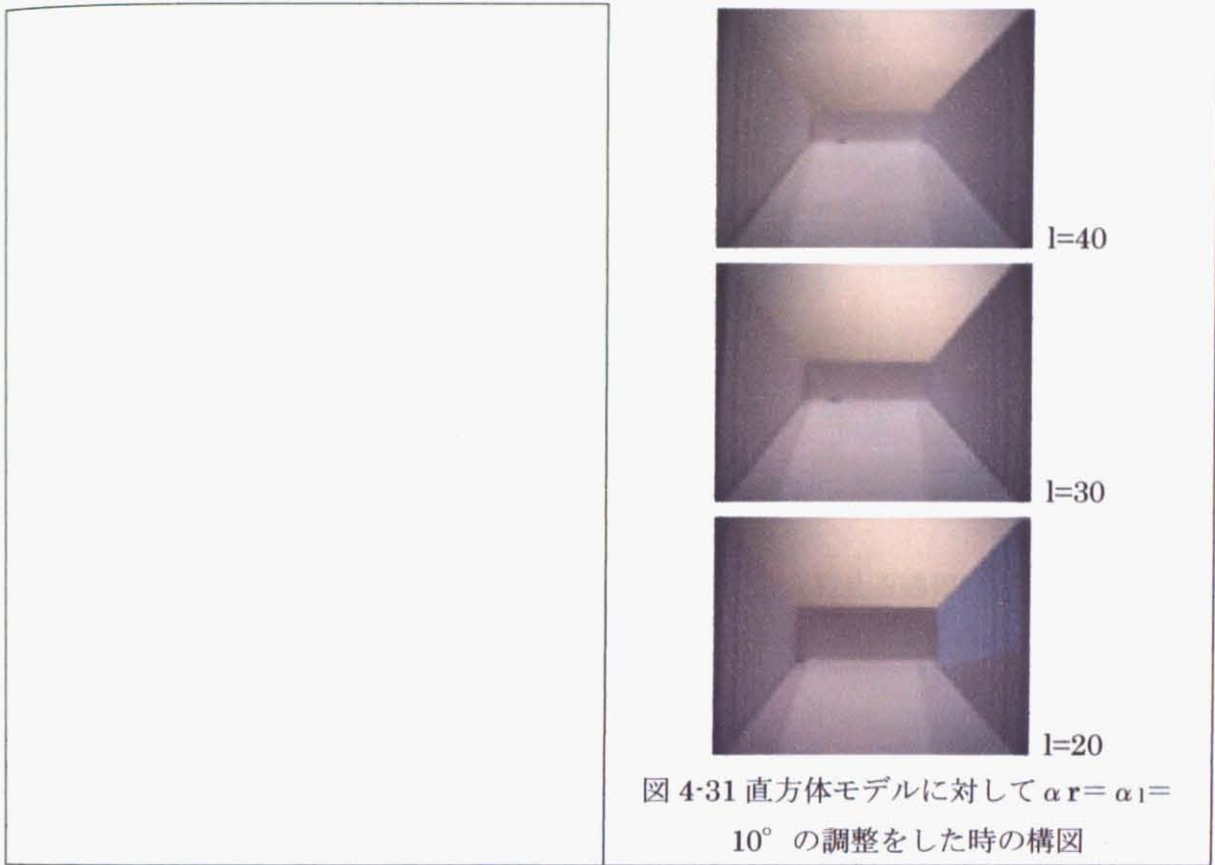


図 4-31 直方体モデルに対して  $\alpha_r = \alpha_l = 10^\circ$  の調整をした時の構図

(B) 方法

前節の考察より、作品 12 の構図の横方向の寸法を再構成するためには、左右側面それぞれ鉛直方向を軸に遠ざかる方向を正として  $10^\circ$  回転させれば良いことがわかっている。また、前章での計測結果から、作品 12 の左側面の上下辺の交点（点 B）の画面縦に対する高さは  $0.325 (=h'_b)$ 、右側面の上下辺の交点（点 A）の画面縦に対する高さは  $0.322 (=h'_a)$  であることがわかっている。以上の  $\alpha_l$ 、 $\alpha_r$  に従って立体モデルを調整することによって作品 12 の構図の横方向を再現でき、さらに水平方向、奥行き方向を軸とした回転の調整によって、生成する構図の  $h'_a$ 、 $h'_b$  の値を再現することができれば、鉛直方向・水平方向・奥行き方向の 3 つを回転軸とした側面の角度調整をファクターとして、作品 12 の構図を再現できることが実証できる。

(1)  $l=0.6(\text{m})$  の左右側面を用いて、4.3.2.3 と同様に、左右側面の鉛直方向の辺のうちのカメラに近い辺を回転軸として  $\alpha_r = \alpha_l = 10^\circ$  に回転させて、カメラ撮影する。

(2) (1) に対して、左右側面のカメラに近い辺とカメラ位置を鉛直方向上向きに少しずつ移動させ、カメラ撮影によって生成する画像の左右側面図の消失点が、画面の縦の長さに対して約  $\frac{3}{10}$  の高さの一致する点で移動を停止し、台によって固定し、カメラ撮影する。約  $\frac{3}{10}$  にする根拠は、作品 12 の構図の、側面の上下辺の交点の高さの縦に対する比が左右それぞれ  $0.325$  と  $0.322$  であり、約  $\frac{3}{10}$  であるからである。

(3) 左右側面を支える部品は、は、直角の金折ではなくクリップを使用した。左右側面の鉛直方向の辺のうちのカメラに近い辺が、カメラの画面の左右の辺と一致するように、左右側面の底面

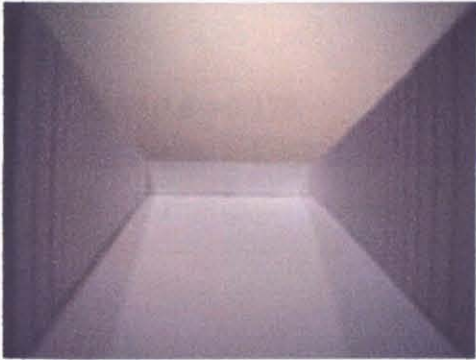
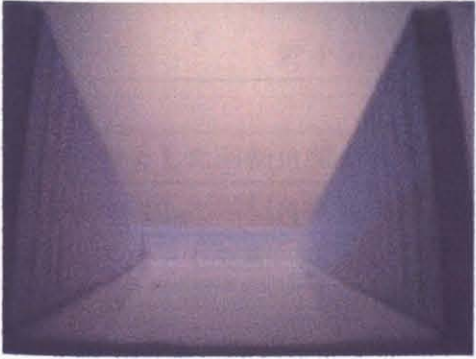
に接する奥行き方向の辺を基軸として回転させ、カメラ撮影する。

(4) (1) で設定した、水平方向を回転軸とした回転角度  $\beta$  と、(2) で設定した、奥行き方向を回転軸とした左右側面の回転角度  $\gamma_r$ 、 $\gamma_l$  を計測した。 $\beta$  は、台の高さを計測して  $H$  とし、底面のボードの奥行き方向の長さは  $D=0.6(\text{m})$  であるので、 $\tan \beta = \pm \frac{H}{D}$  より計算した。回転角度  $\gamma_r$ 、 $\gamma_l$  は、分度器を用いて計測した。

### (C) 結果

#### (1) 調整の過程

カメラ撮影による生成画像の構図を浮世絵作品の構図に合わせる過程において、鉛直・水平・奥行き方向を軸に回転させた状態の時に、カメラ撮影によって生成する画像を表したのが図 4-32 である。

	鉛直方向を回転軸として $\alpha_r = \alpha_l = 10^\circ$ 回転させた基本状態
	①に対して、水平方向を回転軸として $\beta$ 回転させた状態



②に対して、奥行き方向を回転軸として左右側面の回転角度  $\gamma_r$ 、 $\gamma_l$  回転させた状態

図 4-32 作品 12 を再現する調整の過程

(2) 計測データ

水平方向を回転軸とした回転を表す計測データは次の H、D である。また、H と D により  $\tan \beta$  を計算すると次のようになる。

$$H=0.065(\text{m})$$

$$D=0.6(\text{m})$$

$$\tan \beta = 0.065 / 0.6 = 0.178$$

奥行き方向を回転軸とした回転を表す計測データは次の  $\gamma_r$ 、 $\gamma_l$  である。

$$\gamma_r = \gamma_l = 5 (^\circ)$$

(D) まとめ

浮世絵作品 12 の構図を再構成することができる回転角度は、下記であることがわかった。

表 4-51 浮世絵作品 12 の構図を再現する変数の値

変数	左側面の値	右側面の値
鉛直方向を軸とした回転角度 $\alpha$	10	10
水平方向を軸とした回転角度 $\beta$	$\tan \beta = 0.178$ となる $\beta$	$\tan \beta = 0.178$ となる $\beta$
奥行き方向を軸とした回転角度 $\gamma$	5	5

4.3.3.4 鳥居清忠の作品例の構図の再現

(A) 目的

浮世絵作品 12 の構図を再現することができる、回転角度を導出するため、次を目的とする。

- 1) 4.3.2.3 の結果に従い、鉛直方向を軸に左側面を  $12.10^\circ$ 、右側面を  $-8.6^\circ$  それぞれ遠ざかるように回転させることによって、作品 8 の構図の横方向の性質を再現できることを検証する。

2) 作品 8 の構図の縦方向の性質も再構成できるよ奥行き方向、水平方向を軸とした左右側面回転角度を導出する。

## (B) 方法

前節の結果より、作品 8 の構図の横方向の寸法を再現するためには、左側面を  $12.1^\circ$  ( $=\alpha_l$ )、右側面を  $-8.6^\circ$  ( $=\alpha_r$ )、鉛直方向を軸に回転させれば良いことがわかっている。また、前章での計測結果から、作品 8 の左側面の上下辺の交点 (点 B) の画面縦に対する高さは  $0.451$  ( $=h_b'$ )、右側面の上下辺の交点 (点 A) の画面縦に対する高さは  $0.331$  ( $=h_a'$ ) であることがわかっている。以上の  $\alpha_l$ 、 $\alpha_r$  に従って立体モデルを調整することによって作品 8 の構図の横方向を再構成でき、さらに水平方向、奥行き方向を軸とした回転の調整によって、生成する構図の  $h_a'$ 、 $h_b'$  の値を再構成することができれば、鉛直方向・水平方向・奥行き方向の 3 つを回転軸とした側面の角度調整をファクターとして、作品 8 の構図を再現できることが実証できる。

(1)  $l=0.6(\text{m})$  の左右側面を用いて、左右側面の鉛直方向の辺のうちのカメラに近い辺を回転軸として  $\alpha_r=12.1$  ( $^\circ$ )、 $\alpha_l=-8.6$  ( $^\circ$ ) 回転させて、カメラ撮影する。

(2) (3) の状態に対して、実験 2-1 と同じように左右側面のカメラに近い辺とカメラ位置を鉛直方向上向きに少しずつ移動させ、カメラ撮影によって生成する画像の左右側面図の消失点が、画面の縦の長さに対して約  $\frac{3}{10}$  の高さに一致する点で移動を停止し、台によって固定し、カメラ撮影する。約  $\frac{3}{10}$  の高さに合わせる理由は、まず作品 8 の右側面の上下辺の交点を再構成することを目的とし、作品 8 の右側面の上下辺の交点の縦に対する比率は  $0.331$  であり、約  $\frac{3}{10}$  の  $1$  であるからである。

(3) 左右側面を支える部品は、直角の金折ではなくクリップを使用した。左右側面の鉛直方向の辺のうちのカメラに近い辺が、カメラの画面の左右の辺と一致するように、左右側面の底面に接する奥行き方向の辺を基軸として回転させ、カメラ撮影する。

## (C) 結果

### (1) 調整の過程

カメラ撮影による生成画像の構図を浮世絵作品の構図に合わせる過程において、鉛直・水平・奥行き方向を軸に回転させた状態の時にカメラ撮影によって生成する画像を表したのが図 4-33 である。




 <p>(a)</p>	<p>鉛直方向を回転軸として <math>\alpha_r = 12.1 (^{\circ})</math>、<math>\alpha_l = -8.6 (^{\circ})</math> 回転させた基本状態</p>
 <p>(b)</p>	<p>①に対して、水平方向を回転軸として <math>\beta</math> 回転させた状態</p>
 <p>(c)</p>	<p>②に対して、奥行き方向を回転軸として左右側面の回転角度 <math>\gamma_r</math>、<math>\gamma_l</math> 回転させた状態</p>

図 4-33 作品 8 を再現する調整の過程

(2) 計測データ

水平方向を回転軸とした回転を表す計測データは次の H、D である。また、H と D により  $\tan \beta$  を計算すると次のようになる。

$$H = 0.065(\text{m})$$

$$D = 0.6(\text{m})$$

$$\tan \beta = 0.065 / 0.6 = 0.178$$

奥行き方向を回転軸とした回転を表す計測データは次の  $\gamma_r$ 、 $\gamma_l$  である。

$$\gamma_r = \gamma_l = 5 (^{\circ})$$

(D) まとめ

浮世絵作品 8 の構図を再現することができる回転角度は、下記であることがわかった。

表 4-52 浮世絵作品 8 の構図を再構成する変数の値

変数	左側面の値	右側面の値
鉛直方向を軸とした回転角度 $\alpha$	-8.6	12.1
水平方向を軸とした回転角度 $\beta$	$\tan \beta = 0.178$ となる $\beta$	$\tan \beta = 0.178$ となる $\beta$
奥行き方向を軸とした回転角度 $\gamma$	5	5

### 4.3.4 角度変数による再構成の幾何学的検証

#### 4.3.4.1 目的

実験によって実証された、3次元の直方体モデルを基準として、左右側面の回転角度を変数とする調整によって、浮世絵の非透視図を再構成できることを、幾何学的にも検証するため、1)2)3)を目的とする。

- 1) 左右側面を、鉛直方向を軸に左右が離れる方向に回転させると、投象図における左右側面の消失点の間隔は拡大する。
- 2) 左右側面を、水平方向を軸に鉛直方向下向きに回転させると、投象図における左右側面の消失点は下向きに移動する。
- 3) 左右側面を、水平方向を軸に回転させると、水平方向を軸に回転させることによってできるあおりを修正できる。

#### 4.3.4.2 鉛直方向を軸とした角度変数と消失点

##### (A) 目的

直方体モデルを基準に、左右側面を鉛直方向を軸に左右が離れる方向に回転させると、投象図における左右側面の消失点の間隔は拡大することを幾何学的に証明する。

##### (B) 証明

左右側面を、鉛直方向を軸に、左右が離れる方向を正として、それぞれ角度  $\alpha_r$ 、 $\alpha_l$  回転させた場合の消失点の位置を幾何学的に導出し、実験におけるカメラ撮影で生成した構図と同様になれば、実験によって求められた結果が、理論的に正しいことを検証することができる。

実験装置の平面図を図式化した、図 4-34 に基づいて導く。カメラは、ピンホールカメラのよう



に視点と焦点が一致し、スクリーンに映される構造と仮定する。スクリーンと焦点との距離を  $s$ 、焦点と側面のカメラに近い 2 辺を含む面との距離を  $d$ 、左右側面のカメラに近い辺と視軸との距離を  $l$  とする。ここで、左右側面のうちのカメラに近い鉛直方向の 2 辺を含む面から、奥行き方向に  $y$  離れたある点  $P_1$  について考える。点  $P_1$  のスクリーン上の像の位置を導出し、 $y \rightarrow \infty$  とした時の点  $P_1$  の像を求めることにより、左側面の消失点を求めることができる。右側面の消失点についても同様の手順で求めることができる。

以下の計算によって、左側面の消失点の位置を導出する。画面上の位置は、中心からの横方向の距離  $w_l$  によって表す。

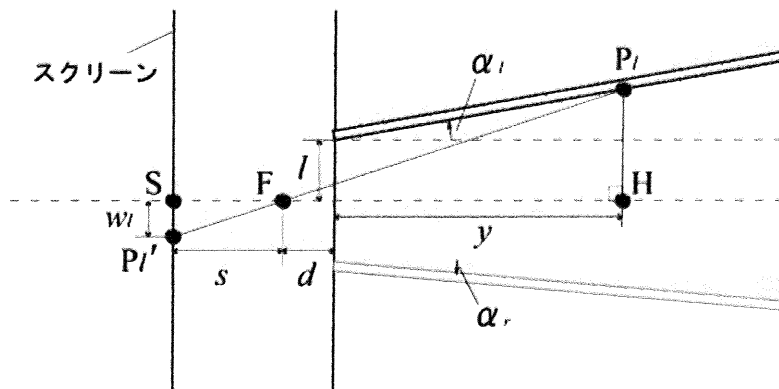


図 4-34 実験装置の平面図

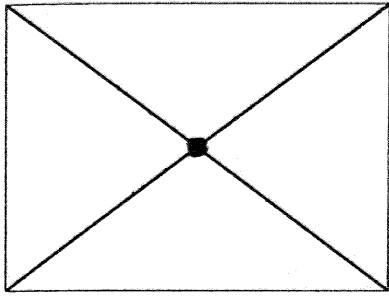
図のようにスクリーンと視軸との交点を  $S$ 、焦点を  $F$  とする。また点  $P_1$  のスクリーン上の像を点  $P_1'$  とし、点  $P_1$  の視軸への垂線の足を  $H$  とする。

$\triangle P_1HF \sim \triangle P_1'SF$  より、

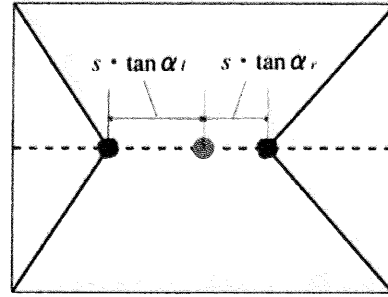
$$w_l = \frac{s \cdot (l + y \cdot \tan \alpha_l)}{d + y} = \frac{s \cdot \left( \frac{l}{y} + \tan \alpha_l \right)}{\frac{d}{y} + 1} \quad (\text{数式 4-7})$$

$$\therefore \lim_{y \rightarrow \infty} w_l = s \cdot \tan \alpha_l \quad (\text{数式 4-8})$$

以上より、左側面を鉛直方向を軸に左右が離れる方向を正としてそれぞれ角度  $\alpha_l$  回転させた場合の消失点の位置は、中心から横方向に  $s \cdot \tan \alpha_l$  移動した点となる。同様に求めることによって、右側面を鉛直方向を軸に左右が離れる方向を正としてそれぞれ角度  $\alpha_r$  回転させた場合の消失点の位置は、中心から横方向に  $s \cdot \tan \alpha_r$  移動した点となることもわかる。よって、直方体モデルを撮影した場合の構図が図 4-35 (a) である場合、左右それぞれ角度  $\alpha_l$ 、角度  $\alpha_r$  回転させた場合の構図は、図 4-35 (b) のようになることがわかる。



(a) 直方体モデルの場合



(b) 鉛直方向を軸に、左側面を角度  $\alpha_l$ 、右側面を角度  $\alpha_r$  回転させた場合

図 4-35 鉛直方向を軸とした左右側面の回転と構図の変化

幾何学的計算により、鉛直方向を軸に左右が離れる方向を正とした回転角度が大きくなるほど、それぞれの消失点の距離は大きくなることわかる。4.3.2.3、4.3.2.4 の結果でも、同様の結果が得られた。また、実験で用いたカメラでは焦点とスクリーンとの距離  $s$  が明らかになっていないが、実験から得られた消失点の  $x$  座標を、 $\tan \alpha_r$  で割ることにより求めることができる。本研究の実験は、精度の高い結果を目的としなかったため、この計算は行わない。

#### 4.3.4.3 水平方向を軸とした角度変数と消失点

##### (A) 目的

直方体モデルを基準に、左右側面を、水平方向を軸に鉛直方向下向きに回転させると、投象図における左右側面の消失点は下向きに移動する。

##### (B) 証明

左右側面を水平方向を軸に、鉛直方向下向きを正として、角度  $\beta$  回転させた場合の消失点の位置を幾何学的に導出し、実験におけるカメラ撮影で生成した構図と同様になれば、実験によって求められた結果が、理論的に正しいことを検証することができる。

実験装置の立面図を図式化した、図 4-36 に基づいて導く。前項と同様に、カメラは視点と焦点が一致し、スクリーンに映されるピンホールカメラのような構造を仮定し、スクリーンと焦点との距離を  $s$ 、焦点と側面のカメラに近い 2 辺を含む面との距離を  $d$ 、焦点の水平面からの高さを  $f$  とする。(角度  $\beta = 0$  の時の底面を水平面とする) ここで、左右側面のうちのカメラに近い鉛直方向 2 辺を含む面から、奥行き方向へ側面の上下辺と平行に  $y$  離れ、側面の底辺からの高さが  $k$  である点  $P$  について考える。点  $P$  のスクリーン上の像の位置を導出し、 $y \rightarrow \infty$  とした時の点  $P$  の像を求めることにより、左右側面の消失点を求めることができる。

以下の計算によって、側面の消失点の位置を導出する。画面上の位置は、中心からの縦方向の距離  $h$  によって表す。

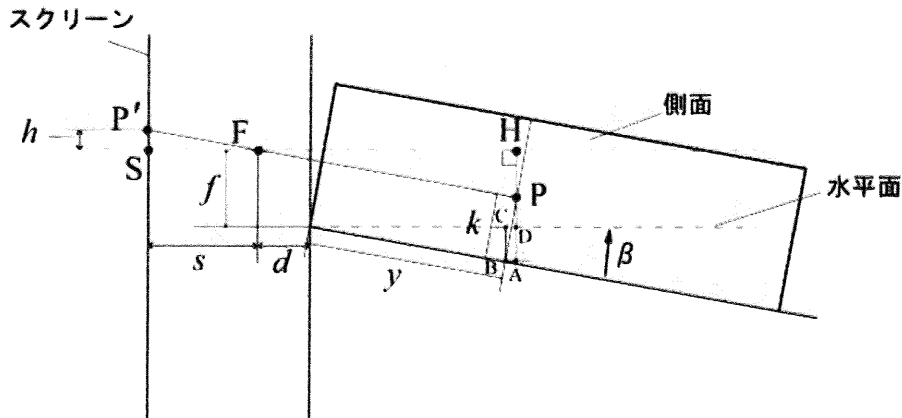


図 4-36 実験装置の立面図

図のようにスクリーンと視軸との交点を S、焦点を F とし、点 P のスクリーン上の像を点 P' とし、点 P の視軸への垂線の足を H とする。点 P から側面の底辺に下ろした垂線の足を B とし、点 B から水平面に下ろした垂線の足を C とする。また、点 P から水平面に下ろした垂線の足を D とし、点 B を通り水平面に平行な面に下ろした垂線の足を A とする。

$$PA = k \cdot \cos \beta, BC = y \cdot \sin \beta \text{ より、} PD = k \cdot \cos \beta \cdot y \cdot \sin \beta$$

$$\therefore PH = f - (k \cdot \cos \beta \cdot y \cdot \sin \beta)$$

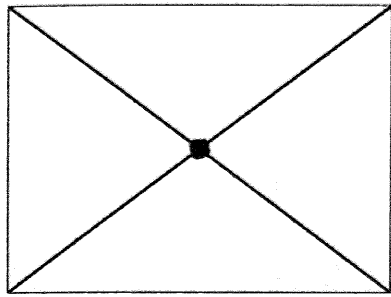
$$\text{また、} HF = d + k \cdot \sin \beta + y \cdot \cos \beta$$

$\triangle PHF \sim \triangle P'SF$  より、

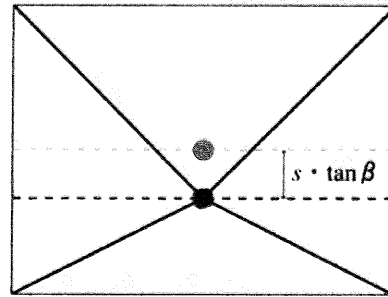
$$h = \frac{s \cdot (f - k \cdot \cos \beta + y \cdot \sin \beta)}{d + k \cdot \sin \beta + y \cdot \cos \beta} = \frac{s \cdot \left( \frac{f}{y} - \frac{k}{y} \cdot \cos \beta + \sin \beta \right)}{\frac{d}{y} + \frac{k}{y} \cdot \sin \beta + \cos \beta} \quad (\text{数式 4-9})$$

$$\therefore \lim_{y \rightarrow \infty} h = s \cdot \tan \beta \quad (\text{数式 4-10})$$

以上より、左右側面を水平方向を軸に、鉛直方向下向きを正として角度  $\beta$  回転させた場合の消失点の位置は、中心から下向きに  $s \cdot \tan \beta$  移動した点となる。よって、直方体モデルを撮影した場合の構図が図 4-37 (a) である場合、角度  $\beta$  回転させた場合の構図は、図 4-37 (b) のようになることがわかる。



(a) 直方体モデルの場合



(b) 水平方向を軸に、  
角度  $\beta$  回転させた場合

図 4-37 水平方向を軸とした左右側面の回転と構図の変化

幾何学的計算により、水平方向を軸に鉛直方向下向きを正とした回転角度が大きくなるほど、それぞれの消失点の位置は下に移動することがわかる。これは 4.3.2.3、4.3.2.4 結果と一致する。

#### 4.3.4.4 奥行き方向を軸とした角度変数とあおり

##### (A) 目的

直方体モデルを基準とし、左右側面を水平方向を軸に回転させると、水平方向を軸に回転させることによってできるあおりを修正できる。

##### (B) 証明

左右側面を水平方向を軸に鉛直方向に回転させると、側面の像は直方体モデルの場合と比較して、上辺に行くほど中心との距離が小さくなる。(このことは「あおり」と呼ばれる) 実験において、左右側面を奥行き方向を軸に回転させることによって、このあおりを修正できることがわかった。ここでは幾何学的に、水平方向を軸に鉛直方向下向きを正として  $\beta$  回転させた場合に生じるあおりを修正するための、左右側面を奥行き方向を軸に左右が離れる方向を正とした回転角度  $\gamma$  を導出する。このような  $\gamma$  が存在し、実験の結果と同様の値になれば、実験によって求められた結果が理論的に正しいことを検証することができる。

まず実験装置の平面図を図式化した、図 4-38 に基づいて、水平方向を軸とした回転により生じるあおりの量を把握する。前項と同様に、カメラは視点と焦点が一致し、スクリーンに映されるピンホールカメラのような構造を仮定し、スクリーンと焦点との距離を  $s$ 、焦点と側面のカメラに近い 2 辺を含む面との距離を  $d$ 、左右側面のカメラに近い辺と視軸との距離を  $l$ 、側面の高さを  $m$  とする。ここで、側面のうちのカメラに近い鉛直方向の辺と側面の上辺との交点  $P$  について、水平方向を軸に鉛直方向下向きを正として  $\beta$  回転させた場合の点を  $P_\beta$  とし、直方体モデルの場合の点を  $P_0$  とし、それぞれのスクリーン上の像の位置  $P_\beta'$ 、 $P_0'$  とすると、 $P_\beta'$  の位置と  $P_0'$  の位置を比較することにより、あおりの量を把握することができる。図の  $P_\beta'$ 、 $P_0'$  があおりの量となる。

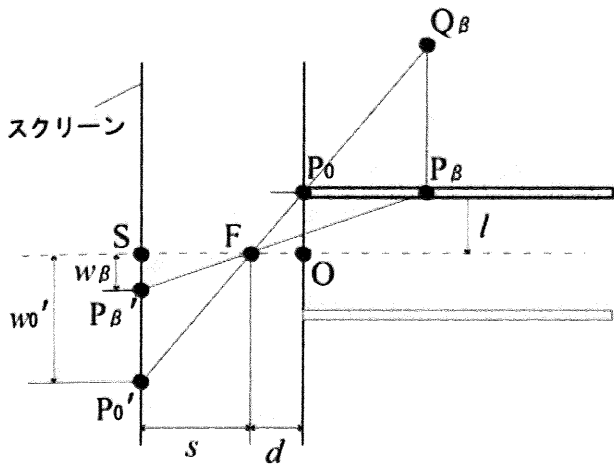


図 4-38 実験装置の平面図

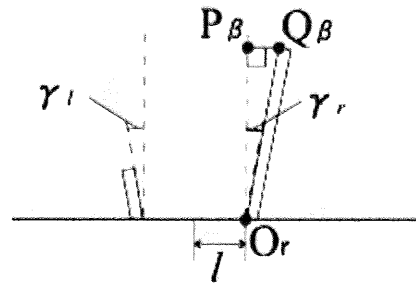


図 4-39 実験装置の断面図

図 4-38 より、あおりを修正するためには、点  $P_\beta$  が直線  $P_0'P_0$  上の、図の点  $Q_\beta$  の位置にあればよいことがわかる。実験装置の断面図を図式化した、図 4-39 に基づいて、側面を奥行き方向を軸に、左右が離れる方向を正として、角度  $\gamma$  回転させることによって、点  $P_\beta$  が点  $Q_\beta$  に一致するような角度  $\gamma$  を求めることができれば、左右側面を奥行き方向を軸に回転させることによって、このあおりを修正できることが証明できる。

以下の計算によって、あおりを修正する角度  $\gamma$  を導出する。

図のようにスクリーンと視軸との交点を  $S$ 、焦点を  $F$  とする。左右側面の鉛直方向の辺のうちのカメラに近い辺と、底面との接点をそれぞれ  $O_r$ 、 $O_l$  とし、その中点を  $O$  とする。

平面図において、高さ  $m$  の側面を水平方向を軸に角度  $\beta$  傾けた時の  $Q_\beta O_r = m \cdot \sin \beta$  であるので、 $\triangle Q_\beta P_0 P_\beta \sim \triangle P_0 F O$  より、

$$Q_\beta P_\beta = \frac{l \cdot m \cdot \sin \beta}{d}$$

断面図において、高さ  $m$  の側面を水平方向を軸に角度  $\beta$  傾けた時の  $P_0 P_\beta = m \cdot \cos \beta$  であるので、 $Q_\beta P_\beta$  が上式のようなようになるような  $\gamma$  は、次式を満たす値となる。

$$\sin \gamma = \frac{l \cdot m \cdot \sin \beta}{m \cdot \cos \beta} = \frac{l}{d} \cdot \tan \beta$$

以上より、水平方向を軸に鉛直方向下向きを正として  $\beta$  回転させた場合に生じるあおりは、左右側面を奥行き方向を軸に、上式を満たすような  $\gamma$  回転させることによって、修正できることが証明できる。

#### 4.3.4.5 幾何学的検証のまとめ

次のことが幾何学的に検証された。

- 1) 左右側面を、鉛直方向を軸に左右が離れる方向に回転させると、投象図における左右側面の消失点の間隔は拡大する。
- 2) 左右側面を、水平方向を軸に鉛直方向下向きに回転させると、投象図における左右側面の消失点は下向きに移動する。
- 3) 左右側面を、水平方向を軸に回転させると、水平方向を軸に回転させることによってできるあおりを修正できる。

#### 4.3.5 角度変数による再構成の代替不可能性の幾何学的検証

##### 4.3.5.1 目的

浮世絵の構図は、左右側面を鉛直・水平・奥行き方向を軸とした回転角度を変数として、再構成できることがわかった。同じ構図を、側面の角度ではなく次のような視点特性を変数とすることによって得ることができないことを幾何学的に検証する。

- 1) 視点位置
- 2) スクリーンと焦点の関係

##### 4.3.5.2 変数を視点位置に代替

直方体モデルを基準に、左右側面を回転させることによってできる投象図が、側面を固定して視点を移動させることによって作成できないことを検証するためには、これまで絶対座標において捉えてきた側面の角度調整を、側面の位置を基準にした座標系における視点の位置変化として捉えなおす。左側面を基準にした座標系で捉える場合の視点変化、右側面を基準にした座標系で捉える場合の視点変化の両方を求め、2つの座標系が直方体モデルに固定される場合、求めた2つの変化が一致しなければ視点位置の調整では代替できないことが検証される。

##### (1) 鉛直方向を軸とした回転の代替

直方体モデルを基準にした、左右側面の鉛直方向を軸にした回転を、(i) 左側面の位置を基準にした座標系と(ii) 左側面の位置を基準にした座標系における視点の位置変化として捉えなおす。以下、4.3.4.2の図を用いて考える。

##### (i) 左側面を基準とした座標系で捉える場合

焦点を含む水平面に平行な面を  $z'=0$  平面とし、左側面の奥行き方向を  $y'$  軸、高さ方向上向きを  $z'$  軸、 $y'z'$  に垂直な軸を  $x'$  軸とした  $x'y'z'$  座標において視点の移動を捉える。このとき、絶対座標系

において左側面を鉛直方向を軸として左右が離れる方向に $\alpha_l$ 回転させる調整は、 $x'y'z'$ 座標において視点が $z'=0$ 平面上を $\alpha_l$ 回転することになる。

(ii) 右側面を基準とした座標系で捉える場合

焦点を含む水平面に平行な面を $z''=0$ 平面とし、右側面の奥行き方向を $y''$ 軸、高さ方向上向きを $z''$ 軸、 $y''z''$ に垂直な軸を $x''$ 軸とした $x''y''z''$ 座標において視点の移動を捉える。このとき、絶対座標系において左側面を鉛直方向を軸として左右が離れる方向に $\alpha_r$ 回転させる調整は、 $x''y''z''$ 座標において視点が $z''=0$ 平面上を $-\alpha_r$ 回転することになる。

直方体モデルに固定した $x'y'z'$ 座標系における $z'=0$ 平面上の $\alpha_l$ 回転と、 $x''y''z''$ 座標系における $z''=0$ 平面上の $-\alpha_r$ 回転は一致しないので、鉛直方向を軸とした左右側面の回転は、視点の移動で代替されないことがわかる。

(2) 水平方向を軸とした回転の代替

直方体モデルを基準にした、左右側面の水平方向を軸にした回転を、(i) 左側面の位置を基準にした座標系と(ii) 左側面の位置を基準にした座標系における視点の位置変化として捉えなおす。以下、4.3.4.3の図を用いて考える。

(i) 左側面を基準とした座標系で捉える場合

焦点を含む水平面に平行な面を $z'=0$ 平面とし、左側面の奥行き方向を $y'$ 軸、高さ方向上向きを $z'$ 軸、 $y'z'$ に垂直な軸を $x'$ 軸とした $x'y'z'$ 座標において視点の移動を捉える。このとき、絶対座標系において左側面を水平方向を軸として鉛直方向下向きに $\beta$ 回転させる調整は、 $x'y'z'$ 座標において視点が水平方向を軸に鉛直方向上向きに $\beta$ 回転することになる。

(ii) 右側面を基準とした座標系で捉える場合

焦点を含む水平面に平行な面を $z''=0$ 平面とし、右側面の奥行き方向を $y''$ 軸、高さ方向上向きを $z''$ 軸、 $y''z''$ に垂直な軸を $x''$ 軸とした $x''y''z''$ 座標において視点の移動を捉える。このとき、絶対座標系において右側面を水平方向を軸として鉛直方向下向きに $\beta$ 回転させる調整は、 $x''y''z''$ 座標において視点が水平方向を軸に鉛直方向上向きに $\beta$ 回転することになる。

直方体モデルに固定した $x'y'z'$ 座標系における水平方向を軸に鉛直方向上向きに $\beta$ 回転と、 $x''y''z''$ 座標系における水平方向を軸に鉛直方向上向きに $\beta$ 回転は一致するので、水平方向を軸とした左右側面の回転は、視点の移動で代替できることがわかる。

(3) 奥行き方向を軸とした回転の代替

直方体モデルを基準にした、左右側面の奥行き方向を軸にした回転を、(i) 左側面の位置を基

準にした座標系と (ii) 左側面の位置を基準にした座標系における視点の位置変化として捉えなおす。以下、4.3.4.4 の図を用いて考える。

(i) 左側面を基準とした座標系で捉える場合

焦点を含む水平面に平行な面を  $z'=0$  平面とし、左側面の奥行き方向を  $y'$  軸、高さ方向上向きを  $z'$  軸、 $y'z'$  に垂直な軸を  $x'$  軸とした  $x'y'z'$  座標において視点の移動を捉える。このとき、絶対座標系において左側面を奥行き方向を軸として左右が離れる方向に  $\gamma_l$  回転させる調整は、 $x''z''$  平面上の  $-\gamma_l$  回転させることになる。

(ii) 右側面を基準とした座標系で捉える場合

焦点を含む水平面に平行な面を  $z''=0$  平面とし、右側面の奥行き方向を  $y''$  軸、高さ方向上向きを  $z''$  軸、 $y''z''$  に垂直な軸を  $x''$  軸とした  $x''y''z''$  座標において視点の移動を捉える。このとき、絶対座標系において右側面を水平方向を軸として鉛直方向下向きに  $\gamma_r$  回転させる調整は、 $x'z'$  平面上の  $\gamma_r$  回転することになる。

直方体モデルに固定した  $x'y'z'$  座標系における  $x'z'$  平面上の  $-\gamma_l$  回転と、 $x''y''z''$  座標系における  $x''z''$  平面上の  $\gamma_r$  回転は一致しないので、奥行き方向を軸とした左右側面の回転は、視点の移動で代替できないことがわかる。

#### 4.3.5.3 変数をスクリーンと焦点の関係に代替

直方体モデルを基準に、左右側面を回転させることによってできる投象図が、側面を固定し、スクリーンと焦点の関係を変化させることによって作成できないことを検証するためには、水平方向あるいは鉛直方向を軸にスクリーンを回転させた場合の投象図を求めてみる。これによって得られる図が、側面の角度調整によって得られる図と一致しなければスクリーンと焦点の関係の調整では代替できないことが検証される。

(1) 水平方向を軸としたスクリーンの回転による代替

左側面の上辺のうち視点に最も近い点  $Plt$  と、右側面の上辺のうち視点に最も近い点  $Prt$ 、左側面の下辺のうち視点に最も近い点  $Plb$  と、右側面の下辺のうち視点に最も近い点  $Prb$  の回転させたスクリーンにおける像を点  $Qlt'$ 、点  $Qrt'$ 、点  $Qlb'$ 、点  $Qrb'$  とし、この4点を求めることによって投象図を求める。回転させない標準位置のスクリーンにおける4点の像を点  $Plt'$ 、点  $Prt'$ 、点  $Plb'$ 、点  $Prb'$  とする。標準位置に対する水平方向を軸（焦点を含む）としたスクリーンの回転角を  $\theta$  とする。

実験装置の立面図、平面図を図式化した、図 4-40 に基づいて導く。カメラは視点と焦点が一致し、スクリーンに映されるピンホールカメラのような構造を仮定し、スクリーンと焦点との距離



を  $s$ 、焦点と側面のカメラに近い 2 辺を含む面との距離を  $d$  とし、側面の高さを  $m$ 、左右側面の中心軸からの距離を  $l$  とする。また、焦点の位置を  $F$  とする。

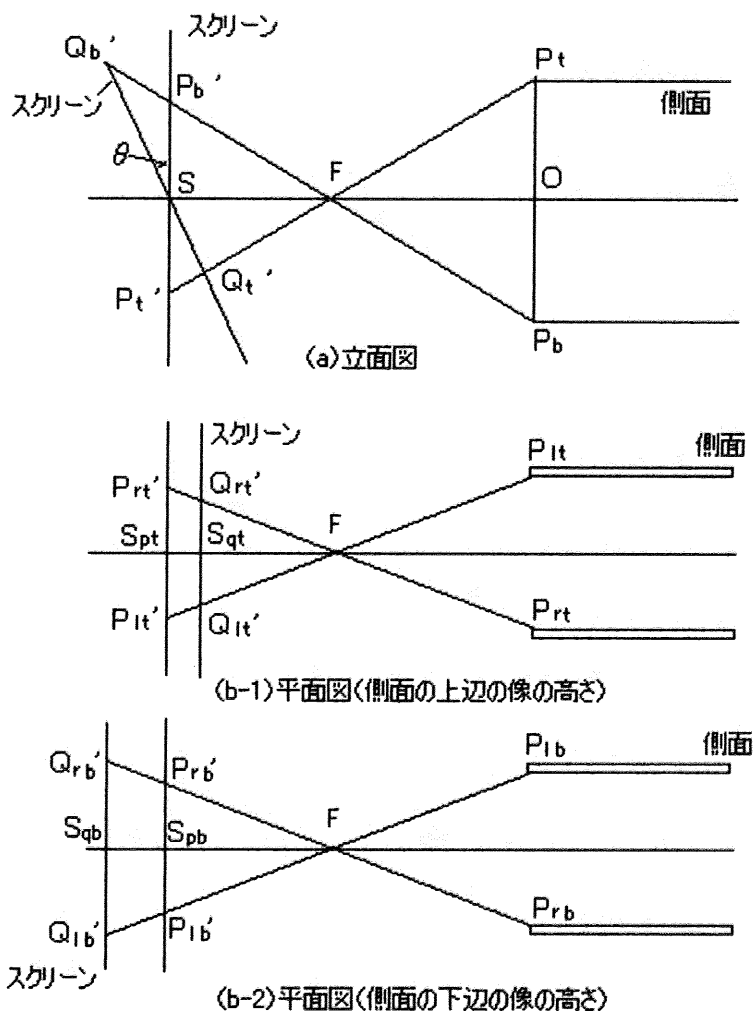


図 4-40 水平面を軸としたスクリーンの回転

実験装置の平面図を図式化した図 4-40 (b-1) において、側面上辺の点  $Plt$ 、点  $Prt$  のスクリーンにおける像である点  $Qlt'$ 、点  $Qrt'$  を結んだ線分  $Qlt'Qrt'$  と、標準位置のスクリーンの場合の像による線分  $Plt'Prt'$  との距離を  $SptSqt$  とする。また、図 4-40 (b-2) において、側面上辺の点  $Plb$ 、点  $Prb$  のスクリーンにおける像である点  $Qlb'$ 、点  $Qrb'$  を結んだ線分  $Qlb'Qrb'$  と、標準位置のスクリーンの場合の像による線分  $Plb'Prb'$  との距離を  $SpbSqb$  とする。 $SptSqt$  と  $SpbSqb$  の大きさを求めることができれば、線分  $Qlt'Qrt'$ 、線分  $Qlb'Qrb'$  の大きさを求めることができ、4 点の像を導くことができる。

まず、実験装置の立面図を図式化した図 4-40 (a) に基づき、回転させてスクリーンにおける左右側面の像の高さを求めるため、線分  $SQt'$  と線分  $SQb'$  の大きさを求める。

$\triangle Pb'SF$  の  $\triangle PbO$  より、

$$P_b'S = P_t'S = \frac{ms}{2d} \quad (\text{数式 4-11})$$

$\triangle SPt'Qt'$  について考える。

$\angle SPt'Qt' = \phi t$  とし、 $\angle SQt'Pt' = \lambda t$  とする。

正弦定理を用いて線分  $SQt'$  を求めるため、 $\sin \phi t$  と  $\sin \lambda t$  を求めると次のようになる。

$$\tan \phi_t = \frac{2d}{m} \text{ より、} \sin \phi_t = \frac{2d}{\sqrt{m^2 + 4d^2}}, \cos \phi_t = \frac{m}{\sqrt{m^2 + 4d^2}}$$

$$\sin \lambda_t = \sin(\pi - \theta - \phi_t) = \sin(\theta + \phi_t)$$

$$= \sin \theta \cos \phi_t + \cos \theta \sin \phi_t$$

$$= \frac{m}{\sqrt{m^2 + 4d^2}} \sin \theta + \frac{2d}{\sqrt{m^2 + 4d^2}} \cos \theta$$

正弦定理より、

$$SQ_t' = \frac{\sin \phi_t}{\sin \lambda_t} \cdot P_t'S = \frac{ms}{m \cdot \sin \theta + 2d \cdot \cos \theta} \quad (\text{数式 4-12})$$

$\triangle SPt'Qt'$  について考える。

$\angle SPb'Qb' = \phi b$  とし、 $\angle SQb'Pb' = \lambda b$  とすると、

$$\sin \phi_b = \sin(\pi - \phi_t) = \sin \phi_t$$

$$\sin \lambda_b = \sin(\pi - \theta - \phi_b) = \sin(-\theta + \phi_t)$$

$$= -\sin \theta \cos \phi_t + \cos \theta \sin \phi_t$$

$$= -\frac{m}{\sqrt{m^2 + 4d^2}} \sin \theta + \frac{2d}{\sqrt{m^2 + 4d^2}} \cos \theta$$

正弦定理より、

$$SQ_b' = \frac{\sin \phi_b}{\sin \lambda_b} \cdot P_b'S = \frac{ms}{-m \cdot \sin \theta + 2d \cdot \cos \theta} \quad (\text{数式 4-13})$$

以上より、点  $Qt'$  から標準のスクリーンに下ろす垂線の長さ、点  $Qb'$  から標準のスクリーンに下ろす垂線の長さを求めることができる。この大きさが、実験装置の平面図を図式化した図 4-40 (b-1) (b-2) における  $S_{pt}S_{qt}$  と  $S_{pb}S_{qb}$  の大きさであり次のようになる。

$$S_{pt}S_{qt} = SQ_t' \cdot \sin \theta = \frac{ms \cdot \sin \theta}{m \cdot \sin \theta + 2d \cdot \cos \theta} \quad (\text{数式 4-14})$$

$$S_{pb}S_{qb} = SQ_b' \cdot \sin \theta = \frac{ms \cdot \sin \theta}{-m \cdot \sin \theta + 2d \cdot \cos \theta} \quad (\text{数式 4-15})$$

$\triangle FPtPrt$  の  $\triangle FQt'Qrt'$  より、

$$Q_{lt}'Q_{rt}' = \frac{2l}{d} \cdot (s - S_{pt}S_{qt}) = \frac{4ls \cdot \cos \theta}{m \cdot \sin \theta + 2d \cdot \cos \theta} \quad (\text{数式 4-16})$$

$$Q_{lb}'Q_{rb}' = \frac{2l}{d} \cdot (s - S_{pb}S_{qb}) = \frac{4ls \cdot \cos \theta}{-m \cdot \sin \theta + 2d \cdot \cos \theta} \quad (\text{数式 4-17})$$

以上より、側面上の点  $P_{lt}$ 、点  $P_{rt}$  のスクリーンにおける像である点  $Q_{lt}'$ 、点  $Q_{rt}'$  と、側面上の点  $P_{lb}$ 、点  $P_{rb}$  のスクリーンにおける像である点  $Q_{lb}'$ 、点  $Q_{rb}'$  は、 $Q_{lt}'Q_{rt}' < Q_{lb}'Q_{rb}'$  となる図 4-41 のような台形を成し、それぞれの点を結んだ線分  $Q_{lb}'Q_{rb}'$  と  $Q_{lt}'Q_{rt}'$  は上式の値となることがわかる。これは左右側面を、奥行き方向を軸に左右が開く方向に回転させる投象図と一致する。よって、スクリーンと焦点の関係の調整によって、左右側面の角度調整は代替できることがわかる。

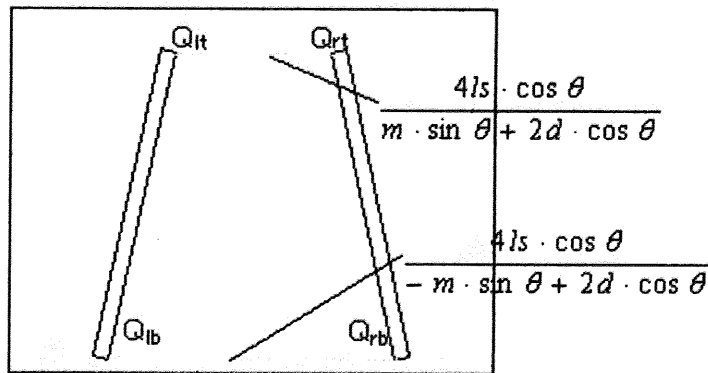


図 4-41 水平方向を軸に回転させたスクリーンに映る像

#### 4.3.5.4 代替不可能性の検証のまとめ

側面に対する 3 種の角度変数によってできる投象図は、側面ではなく視点特性 (1、視点位置、2、スクリーンと焦点の関係) を変数として得ることが可能かどうかをまとめると次のようになる。

表 4-53 側面の角度変数の代替性

		左右側面の角度調整		
		鉛直方向を軸にした回転	水平方向を軸にした回転	奥行き方向を軸にした回転
視点特性	視点位置	不可能	可能	不可能
	スクリーンと焦点の関係	不可能	不可能	可能

## 4.3.6 角度変数による再構成の3DCGアニメーションへの応用性の検証

### 4.3.6.1 目的

3次元の直方体モデルを基準として、左右側面を鉛直・水平・奥行き方向を軸とした回転角度を変数とする調整をすることによって、浮世絵の非透視図を再構成できることは、3DCGアニメーションにも応用できることを検証する。角度変数のうち、4.3.5より独自のとわかった鉛直方向を軸とした回転角度を変数とした再構成について、次を目的とする。

- 1) 3DCGの静止画に応用できることを検証する。
- 2) 3DCGにおける視点移動の表現に応用できることを検証する。
- 3) 3DCGアニメーションに応用できることを検証する。

### 4.3.6.2 3DCG静止画への応用性の検証

#### (A) 目的

鉛直方向を軸とした回転角度を変数とした再構成が、3DCGの静止画に応用できることを検証する。

#### (B) 方法

鉛直方向を軸とした回転角度を変数とした再構成が、3DCGの静止画に応用できることを検証するために、まずは3DCGによって、模型を用いた実験と同様に、左右側面と底面の3Dモデルを作成して、基本の直方体モデルを作成する。さらに模型の実験と同様に、側面を鉛直方向を軸に回転させて、視点を設定してレンダリングをすることにより、3章で導いた浮世絵の構図の特徴のうちの、一点透視図と比較して左右側面の横幅が小さい性質を示す、構図を作成できることが明らかになれば、本章で導いた再構成の手法が、3DCGにも応用できることを検証することができる。

ただし、3Dモデルを構築する際、寸法やテクスチャ、視点位置を設定する必要がある。ここでは、3章以降で分析対象としている、新吉原の仲通りを舞台とした浮世絵に従う。とくに3章の分析で最も一点透視図法に近い構図とわかった作品5の寸法、テクスチャ、視点に基づく。最も一点透視図法に近い構図の作品を選択する理由は、直方体モデルの寸法、視点の決定が最も容易であるからである。作品5に基づいて決定できない寸法については、新たに設定する。

ここで、3Dモデルの構築とテクスチャの付加は、3DCGソフトのViewpoint Scene Builderによって行い、具体的な量の調整は、ソースファイルの書き換えによって行う。



図 4-413DCG の直方体モデル構築の元にする作品 5

(1) 建物をモデリングするため、まず作品 5 に描かれている建物の、下記の (a) の寸法を計測する。これらの寸法の比に従い、**Viewpoint Scene Builder** を用いてモデリングを行う。ただし、下記の (b) の寸法は作品より計測できないため、レンダリングした画像が浮世絵作品と重なるように調節して寸法を設定する。(ただし以下では、高さ方向を鉛直方向、建物の側面の上下辺に平行な方向を奥行き方向、鉛直方向と奥行き方向の両方に垂直な方向を水平方向とする。)

(a) 作品 5 より計測し、計測した比率に従って 3D モデルを作成する寸法

- ・ 建物の一階の高さ
- ・ 建物の二階の高さ
- ・ 屋根までの高さ

(b) 設定する寸法

- ・ 奥行き方向の長さ
- ・ 各建物の水平方向の深さ

(2) 建物のテクスチャを付加するため、作品 5 に基づき、2階に描かれる障子と、一階に描かれる暖簾を 2 種類作成する。テクスチャを **Viewpoint Scene Builder** 上で、(1) で作成した 3D モデルに付加する。

(3) 門をモデリングするため、まず作品 5 に描かれている門の、下記の (a) の寸法を計測する。これらの寸法の比に従い、**Viewpoint Scene Builder** を用いてモデリングを行う。門の両側に配置する、壁も作成する。

(a) 作品 5 より計測し、計測した比率に従って 3D モデルを作成する寸法

- ・ 門の柱の最高部までの高さ
- ・ 門の貫の高さ
- ・ 門の奥行き方向の長さ
- ・ 門の柱の横幅

(3) 門のテクスチャを付加するため、作品 5 に基づき、作成する。テクスチャを **Viewpoint Scene Builder** 上で (3) で作成した 3D モデルに付加する。

(4) **Viewpoint Scene Builder** 上で、道の突き当たりに配置する門と平行な壁も作成し、テクスチャを貼る。

(5) Viewpoint Scene Builder 上で、底面も作成し、テクスチャを貼る。

(6) シーンを構築するため、まず作品 5 に基づき、下記の (a) の寸法を計測する。ただし、下記の (b) の寸法は作品より計測できないため、レンダリングした画像が浮世絵作品と重なるように調節して寸法を設定する。これらの寸法の比に従い、Viewpoint Scene Builder を用いて、(2) で作成した建物と (4) で作成した門と壁、(5) で作成した壁と、底面を構成する。

(a) 作品 5 より計測し、計測した比率に従って 3D モデルを作成する寸法

- ・ 左右の建物間の距離
- ・ 門と建物間の水平方向の距離

(b) 設定する寸法

- ・ 門と建物間の奥行き方向の距離

(7) Viewpoint Scene Builder 上で、(5) で構成したシーンを、作品 5 と門と建物の手前の側面の寸法が一致するように、視点を設定してレンダリングする。

(8) (5) で構成したシーンにおいて、右の建物を時計回りに 5 度、左の建物を反時計回りに 5 度回転させるため、ソースファイルにおいて、下記に示したように左建物の Rotate の座標 (a) と左建物の Rotate の座標 (b) を、書き換える。(ソースファイルの全容は付録参照)

(a) 左建物の回転の記述

```
<MTSInstance Name="house_left1" >  
  <Transform>  
    <Rotate x="-0.00000" y="175" z="-0.00000" />  
  </Transform>
```

(b) 右建物の回転の記述

```
<MTSInstance Name="house_right1" >  
  <Transform>  
    <Rotate x="0" y="5" z="0" />  
  </Transform>
```

さらに、Viewpoint Scene Builder 上で、左右建物の道に面した側面の、視点到最も近い辺の位置は、回転前と変化しないように手動で調整する。また、側面に合わせて、道の突き当たりの壁の幅と、底面の幅も調整する。(7) と同じ視点の位置でレンダリングする。

(9) (5) で構成したシーンにおいて、右の建物を時計回りに 10 度、左の建物を反時計回りに 10 度回転させるため、ソースファイルにおいて、(9) と同様に、左建物の Rotate の y 座標と左建物の Rotate の y 座標を、それぞれ"170"、"10"と書き換える。

それぞれ、建物の道に面した側面の、視点到最も近い辺の位置は、回転前と変化しないように手動で調整する。また、側面に合わせて、道の突き当たりの壁の幅と、底面の幅を調整する。(7) と同じ視点の位置でレンダリングする。

(10) (5) で構成したシーンにおいて、右の建物を時計回りに 10 度、左の建物を反時計回りに

15度回転させるため、ソースファイルにおいて、(9)と同様に、左建物の Rotate の y 座標と左建物の Rotate の y 座標を、それぞれ”170”、”10”と書き換える。

それぞれ、建物の道に面した側面の、視点に最も近い辺の位置は、回転前と変化しないように手で調整する。また、側面に合わせて、道の突き当たりの壁の幅と、底面の幅を調整する。(7)と同じ視点の位置でレンダリングする。

### (C) 結果

#### (1) 建物の 3DCG モデル

作品 5 より計測できる寸法については、作品より導かれる値に従い、作品を元に決定できない寸法は新たに設定をし、作成した建物のモデルが図 4-42 (a) である。建物を構成する各部分に、作品 5 に基づいて作成したテクスチャを付加したのが (b) である。完成図を表したのが (c) である。全て、構造が明らかになるように、俯瞰した視点においてレンダリングをした図である。

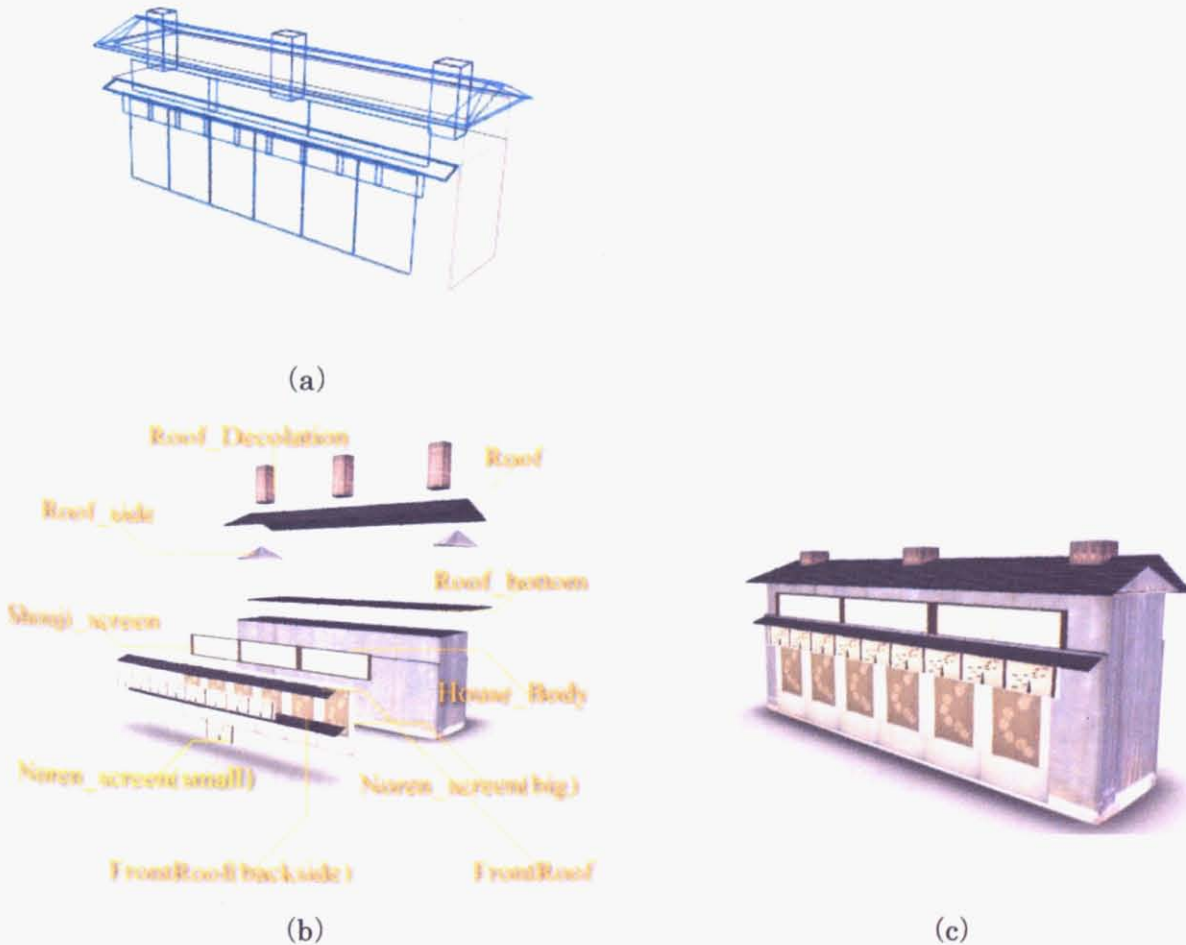


図 4-42 作品 5 に基づいた建物の 3DCG モデルの作成

## (2) 門の 3DCG モデル

作品 5 より計測できる寸法については、作品より導かれる値に従い、作品を元に決定できない寸法は新たに設定をし、作成した門のモデルが図 4-43 (a) である。建物を構成する各部分に、作品 5 に基づいて作成したテクスチャを付加したのが (b) である。完成図を表したのが (c) である。全て、構造が明らかになるように、俯瞰した視点においてレンダリングをした図である。

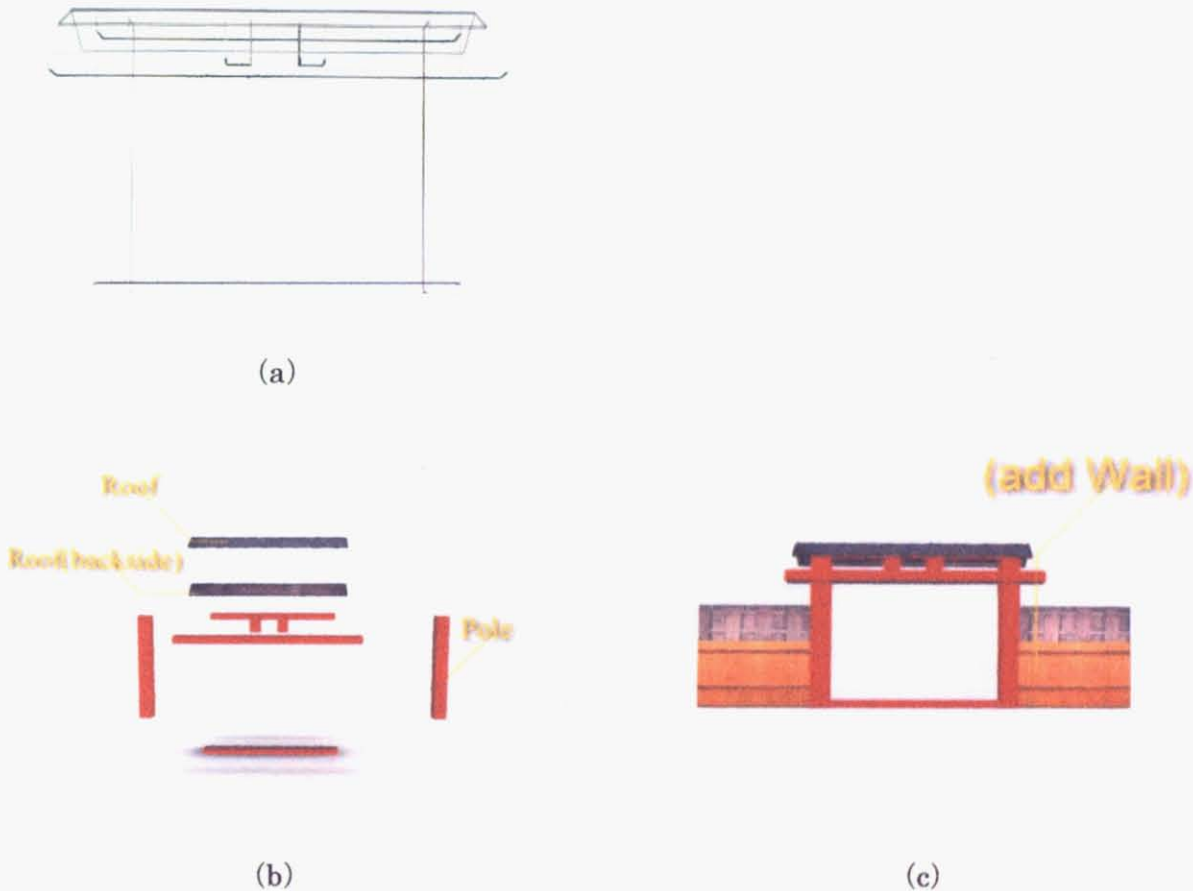


図 4-43 作品 5 に基づいた門の 3DCG モデルの作成

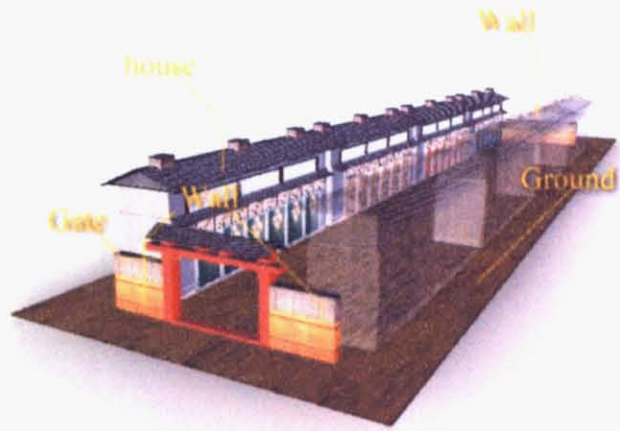
## (3) シーン

(1) (2) で表した建物と門の 3DCG モデルを、作品 5 より計測できる寸法については、作品より導かれる値に従い、作品を元に決定できない寸法は新たに設定することにより、構成したシーンを表したのが図 4-44 (a) である。(a) にテクスチャを付加したのが (b) である。構造が明らかになるように、俯瞰した視点においてレンダリングをした図である。





(a)



(b)

図 4-44 作品 5 に基づいたシーンの構築

(4) 直方体モデルをレンダリングした構図

作成した 3DCG による直方体モデルを、作品 5 に基づいた視点位置において、レンダリングしたのが、図 4-45 である。



図 4-45 直方体モデルを作品 5 の視点でレンダリングした図

(5) 鉛直方向を軸に左右側面を回転させたモデルをレンダリングした構図 (角度  $\alpha = 5^\circ$ )

作成した 3DCG による直方体モデルに対して鉛直方向を軸に、左右側面を左右が離れる方向に  $5^\circ$  回転させたモデルを、作品 5 に基づいた視点位置においてレンダリングしたのが、図 4-46 である。



図 4-46 左右側面を  $\alpha = 5^\circ$  回転させたモデルを作品 5 の視点でレンダリングした構図

(6) 鉛直方向を軸に左右側面を回転させたモデルをレンダリングした構図 (角度  $\alpha = 10^\circ$  )

作成した 3DCG による直方体モデルに対して鉛直方向を軸に左右側面を、左右側面を左右が離れる方向に  $10^\circ$  回転させたモデルを、作品 5 に基づいた視点位置においてレンダリングしたのが、図 4-47 である。

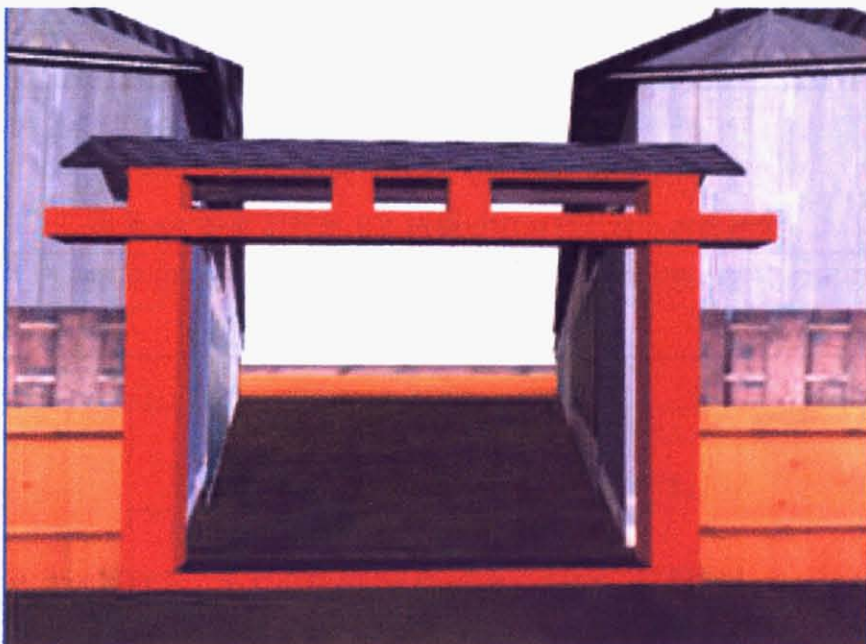


図 4-47 左右側面を  $\alpha = 10^\circ$  回転させたモデルを作品 5 の視点でレンダリングした構図

(7) 鉛直方向を軸に左右側面を回転させたモデルをレンダリングした構図 (角度  $\alpha = 15^\circ$  )

作成した 3DCG による直方体モデルに対して鉛直方向を軸に左右側面を、左右側面を左右が離れる方向に  $15^\circ$  回転させたモデルを、作品 5 に基づいた視点位置においてレンダリングしたのが、図 4-48 である。

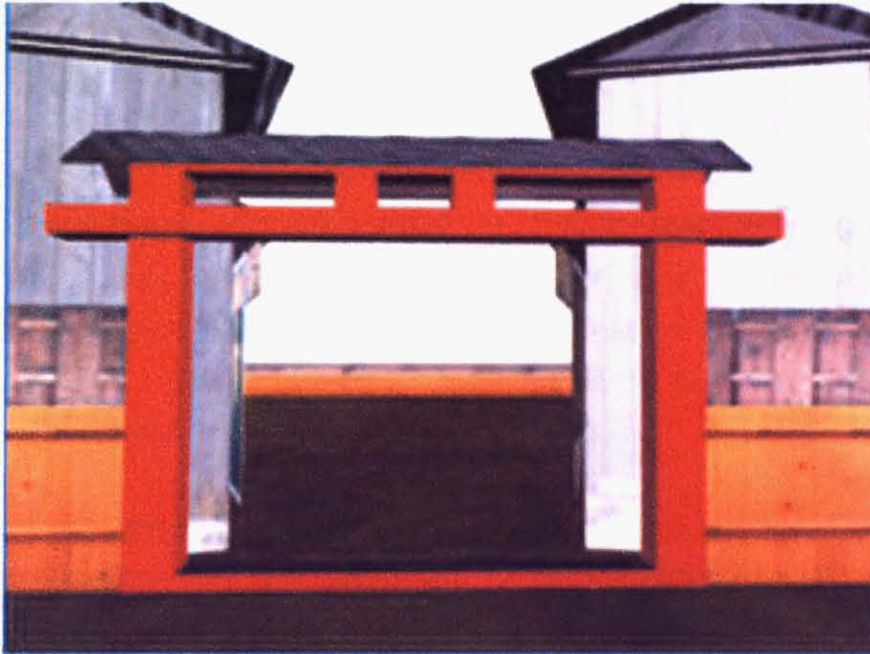


図 4-48 左右側面を  $\alpha = 15^\circ$  回転させたモデルを作品 5 の視点でレンダリングした構図

(D) まとめ

3DCG において構築した直方体モデルに対し、側面を鉛直方向を軸に  $\alpha = 5^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $15^\circ$  回転させることにより、一点透視図と比較して左右側面の横幅が小さい性質を示す構図を作成できるか否かは次のようになる。

表 4-53 角度変数による再構成の 3DCG への応用性

鉛直方向を軸とした側面の回転角度	浮世絵の非透視図の特徴の表現の可否
$\alpha = 5^\circ$	できる。
$\alpha = 10^\circ$	できる。
$\alpha = 15^\circ$	できない。(本項で構築した 3D モデルと設定した視点位置の場合、側面が見えなくなる。)

以上より、鉛直方向を軸とした左右側面の回転角度を変数とする構図法は、側面が見える範囲の回転角度であれば、3DCG に応用できることがわかる。

#### 4.3.6.3 視点移動表現への応用性の検証（視点のみ移動する場合）

##### (A) 目的

鉛直方向を軸とした回転角度を変数として非透視図を再構成する構図法を3DCGに応用するとき、視点位置を変化することによって、視点移動を表現できることを検証する。

##### (B) 方法

3DCGでの視点移動表現への応用性を実証するため、前項で構築した3DCGモデルを用いて、視点位置を時間変化させる。各時間、各視点においてレンダリングした画像の構図が、構図法で作成する非透視図の横方向の特徴を表す、左右側面の間隔を維持できることがわかれば、視点を移動させることによって、視点移動を表現できることが検証できる。そのためにまず、視点移動の軌跡を決定し、次に各視点でレンダリングして画像を作る。

(1) 4.3.6.2において浮世絵作品に合わせて、3次元座標上で設定した視点  $(x,y,z) = (0.315, 0.493, -2.38)$  を、視点移動の始点とする。また、視点を道に沿って奥行き方向に移動させたある点  $(x,y,z) = (0.755, 0.303, -8.76)$  を、視点移動の終点とする。ただし視点を表す座標軸は、前項と同様、水平方向を  $x$  軸、鉛直方向を  $y$  軸、奥行き方向を  $z$  軸とし、それぞれ道の入り口から道の奥に向かって左向きを正、鉛直方向上向きを正、道の入り口から道の奥に向かう向きを負とする。

(2) 視点移動の始点と終点を結ぶ直線を5等分する4点の座標を求める。始点から近い点から順に、通過する時間  $t$  を  $t_1, t_2, t_3, t_4$  とする。また終点に到着する時間  $t$  を  $t_5$  とする。

(3) ソースファイルにおいて、 $t=0$  のときに下記で示した `translate` の座標の記述を、(2) で求めた  $t=0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$  のときの視点の座標に書き換えて、`.mtx` ファイルで保存し、`Viewpoint Scene Builder` でレンダリングする。また、レンダリングで生成する2次元の画像をキャプチャーする。(プログラムの全容は、付録参照)

```
<MTSCamera OrbitDist="4" >  
    <Translate x="0.315" y="0.493" z="-2.38" />  
</MTSCamera>
```

##### (C) 結果

###### (1) 視点移動を調べる6点の座標

通過する時間  $t=0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$  における視点の座標は次のようになる。

表 4-54 視点移動

	視点の x 座標	視点の y 座標	視点の z 座標
t=0 の位置 (初期位置)	0.315	0.493	-2.38
t=t1 の位置	0.403	0.455	-3.656
t=t2 の位置	0.491	0.417	-4.932
t=t3 の位置	0.579	0.379	-6.208
t=t4 の位置	0.667	0.341	-7.484
t=t5 の位置	0.755	0.303	-8.76

(2) t=0、t1、t2、t3、t4、t5 の視点位置の画像

t=0、t1、t2、t3、t4、t5 の視点位置でレンダリングした画像は次のようになる。

(i) 鉛直方向を軸とした回転角度  $\alpha = 0$  の場合



$(t,x,y,z)=(t_0,0.315, 0.493, -2.38)$



$(t,x,y,z)=(t_1, 0.403, 0.455, -3.656)$



$(t,x,y,z)=(t_2, 0.491, 0.417, -4.932)$



$(t,x,y,z)=(t_3, 0.579, 0.379, -6.208)$



$(t,x,y,z)=(t_4, 0.667, 0.341, -7.484)$



$(t,x,y,z)=(t_5, 0.755, 0.303, -8.76)$



図 4-49 鉛直方向を軸とした回転角度  $\alpha = 0$  の時の視点移動

(ii) 鉛直方向を軸とした回転角度  $\alpha = 5$  の場合



$(t,x,y,z)=(t0,0.315, 0.493, -2.38)$



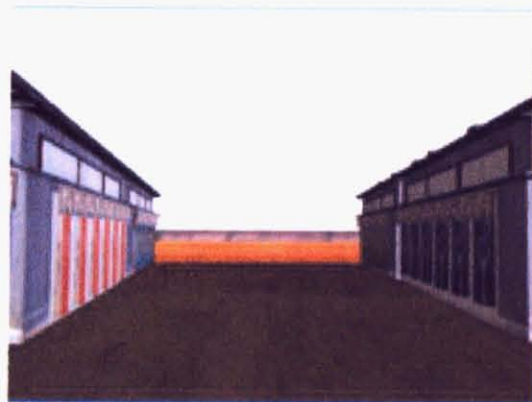
$(t,x,y,z)=(t1, 0.403, 0.455, -3.656)$



$(t,x,y,z)=(t2, 0.491, 0.417, -4.932)$



$(t,x,y,z)=(t3, 0.579, 0.379, -6.208)$



$(t,x,y,z)=(t4, 0.667, 0.341, -7.484)$

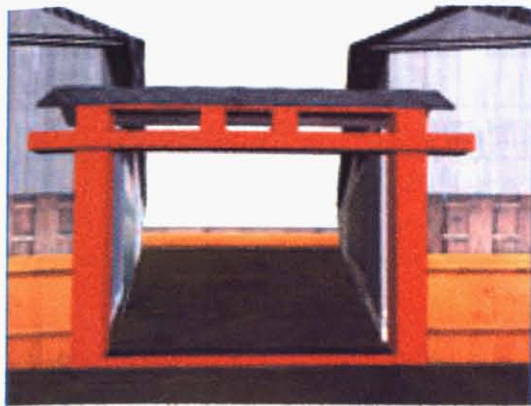


$(t,x,y,z)=(t5, 0.755, 0.303, -8.76)$



図 4-50 鉛直方向を軸とした回転角度  $\alpha = 5$  の時の視点移動

(iii) 鉛直方向を軸とした回転角度  $\alpha = 10$  の場合



$(t,x,y,z)=(t0,0.315, 0.493, -2.38)$



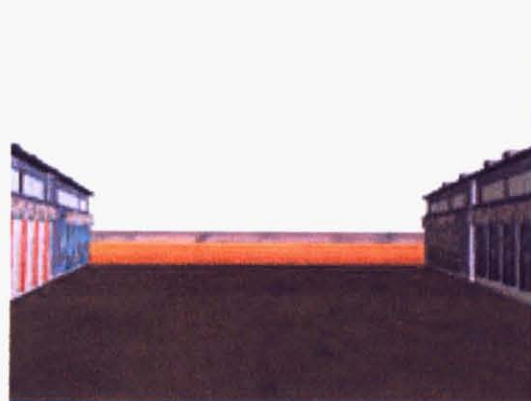
$(t,x,y,z)=(t1, 0.403, 0.455, -3.656)$



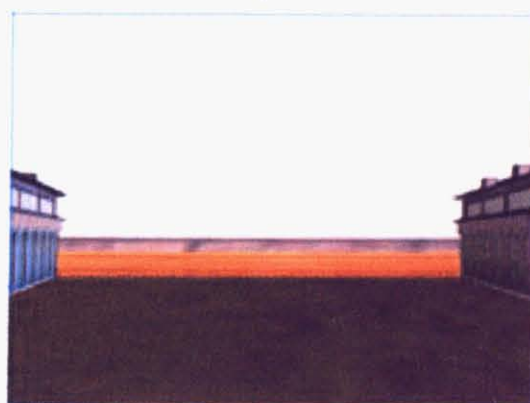
$(t,x,y,z)=(t2, 0.491, 0.417, -4.932)$



$(t,x,y,z)=(t3, 0.579, 0.379, -6.208)$



$(t,x,y,z)=(t4, 0.667, 0.341, -7.484)$



$(t,x,y,z)=(t5, 0.755, 0.303, -8.76)$



図 4-51 鉛直方向を軸とした回転角度  $\alpha = 10$  の時の視点移動

(3) 視点移動に伴う左右側面の間隔の変化

再構成する構図法のうち鉛直方向を軸に側面を回転させる方法において、視点を移動させた場



合、左右側面の間隔が変化するか否かをまとめると次のようになる。

表 4-55 視点移動に伴う左右側面の間隔

鉛直方向を軸とした回転角度 $\alpha$	左右側面の上下辺の交点の間隔
$\alpha = 0 (^{\circ})$	変化しない
$\alpha = 5 (^{\circ})$	変化する（視点を奥行き方向に移動するほど、左右側面の上下辺の交点の距離が大きくなる。）
$\alpha = 10 (^{\circ})$	変化する（視点を奥行き方向に移動するほど、左右側面の上下辺の交点の距離が大きくなる。）

(D) まとめ

再構成する構図法のうち鉛直方向を軸に側面を回転させる方法を 3DCG に応用する場合、視点位置を移動させることによって、視点移動を表現できるか否かは次のようになる。

表 4-56 視点位置を変化させることによる視点移動表現の可能性

鉛直方向を軸とした回転角度 $\alpha$	視点移動表現の可能性
$\alpha = 0 (^{\circ})$	可能
$\alpha = 5 (^{\circ})$	不可能（視点を奥行き方向に移動するほど、左右側面の上下辺の交点の距離が大きくなる。）
$\alpha = 10 (^{\circ})$	不可能（視点を奥行き方向に移動するほど、左右側面の上下辺の交点の距離が大きくなる。）

4.3.6.4 視点移動表現への応用性の検証（視点と側面が移動の場合）

(A) 目的

鉛直方向を軸とした回転角度を変数として非透視図を再構成する構図法を 3DCG に応用するとき、視点位置と側面位置を変化することによって、視点移動を表現できることを検証する。

(B) 方法

視点移動の可能性を実証するため、前項と同様、既に構築した 3DCG モデルを用いる。視点位置を変化させても、左右側面の間隔を維持することができれば、視点移動表現ができることが検証できるが、4.3.6.3 より視点のみを移動させるのでは、左右側面の間隔が視点移動に応じて拡大するため、視点移動を表現できないことがわかった。これより側面の間隔を維持するためには、視点から特定距離の左右側面の間隔が一定になるように、側面位置を変化させればよいと考えられる。そこで視点位置の変化に伴い、視点からの特定距離の左右側面の間隔が一定になるように

側面位置も変化させ、各時間におけるレンダリングの画像の構図が、左右側面の間隔を維持できることを検証する。そのためにまず、4.3.6.3と同じ視点の軌跡に対応する、側面の軌跡を算出し視点と側面を両方変化させた各時間においてレンダリングして画像を作成する。次に、その画像が、左右側面の間隔を維持しているかどうかを調べる。

(1) 4.3.6.2 で構築した、鉛直方向を軸に左右側面を  $\alpha = 5^\circ$ 、 $10^\circ$  回転させた 3D モデルを用いる。この 3D モデルにおける左右建物の位置は下記であり、これを  $t=0$  での左右建物の位置とする。

$\alpha = 5^\circ$  の時・・・左側面 (0, 0, 0.90277)、右側面 (0, 0, -0.02777)

$\alpha = 10^\circ$  の時・・・左側面 (0, 0, 0.93053)、右側面 (0, 0, -0.05553)

この 3D モデルを用いて、Viewpoint Scene Builder 上で、 $t=t5$  の視点でレンダリングした場合に、左右側面の上下辺と画面の枠との 4 交点が、 $t=0$  の視点でレンダリングした場合と一致するように、 $t=t5$  における左右建物を水平方向に移動させ、このときの左右側面の位置を表す座標を計測する。(ただし前項同様、高さ方向を鉛直方向、建物の側面の上下辺に平行な方向を奥行き方向、鉛直方向と奥行き方向の両方に垂直な方向を水平方向とする。)

(2) 初期状態の左右側面の座標と、 $t=t5$  における左右側面の座標を結ぶ線分を 5 等分する座標を算出し、それぞれ  $t=t1$ 、 $t2$ 、 $t3$ 、 $t4$  のときの左右側面の位置を表す座標とする。

(3) ソースファイルにおいて、 $t=0$  のときに下記 (a) ~ (d) のように記述される左右側面の位置の座標に、(2) で求めた  $t1$ 、 $t2$ 、 $t3$ 、 $t4$ 、 $t5$  の座標を書き換える。

(a)  $\alpha = 5$  のときの左建物の位置の記述

```
<MTSInstance Name="house_left1" >  
  <Transform>  
    <Position x="0" y="0" z="0.90277" />  
  </Transform>
```

(b)  $\alpha = 5$  のときの右建物の位置の記述

```
<MTSInstance Name="house_right1" >  
  <Transform>  
    <Position x="0" y="0" z="-0.027774" />  
  </Transform>
```

(c)  $\alpha = 10$  のときの左建物の位置の記述

```
<MTSInstance Name="house_left1" >  
  <Transform>  
    <Position x="0" y="0" z="0.93053" />  
  </Transform>
```

(d)  $\alpha = 10$  のときの右建物の位置の記述

```
<MTSInstance Name="house_right1" >
```

```

<Transform>
    <Position x="0" y="0" z="-0.05553" />
</Transform>

```

また、t1、t2、t3、t4、t5における視点の座標も、4.3.6.3と同様に書き換えて、.mtxファイルで保存し、Viewpoint Scene Builderでレンダリングし、生成する2次元の画像をキャプチャーする。

(4) (3)で作成したt=0、t1、t2、t3、t4、t5のソースファイルにおいて、視点の位置、回転、スケールを下記のように書き換えて、.mtxファイルで保存し、Viewpoint Scene Builderでレンダリングする。また、レンダリングで生成する2次元の画像をキャプチャーする。

```

<MTSCamera OrbitDist="4" >
    <Rotate x="90" y="-90" z="0" />
    <Translate x="0.378" y="3.925" z="-3.656" />
    <Scale x="0.186" y="0.186" z="0.186" />
</MTSCamera>

```

## (C) 結果

### (1) 建物の位置の変化

t=t5の視点でレンダリングしたときに、t=0の視点でレンダリングしたときの左右側面の上下辺と画面の枠との4交点と一致するように、左右側面をz軸方向に移動させた左右側面の位置(z座標)を下記の表に表す。また、左右側面の初期位置と、t=t5の左右側面の位置との間を5等分したt=t1、t2、t3、t4のときの左右側面の位置の座標も同じ表に表す。

#### (i) 回転角度 $\alpha = 5$ の場合

表 4-57 回転角度  $\alpha = 5$  の場合の視点移動に伴う側面移動

	左側面 (左の建物群) の z 座標	右側面 (右の建物群) の z 座標
t=0 の位置 (初期位置)	0.90277	-0.027774
t=t1 の位置	0.81577	0.1092268
t=t2 の位置	0.72877	0.2462276
t=t3 の位置	0.64177	0.3832284
t=t4 の位置	0.55477	0.5202292
t=t5 の位置	0.46777	0.65723

(ii)回転角度  $\alpha = 10$  の場合

表 4-58 回転角度  $\alpha = 10$  の場合の視点移動に伴う側面移動

	左側面の z 座標 (左の建物群)	右側面の z 座標 (右の建物群)
t=0 の位置 (初期位置)	0.93053	-0.05553
t=t1 の位置	0.74253	0.18247
t=t2 の位置	0.55453	0.42047
t=t3 の位置	0.36653	0.65847
t=t4 の位置	0.17853	0.89647
t=t5 の位置	-0.00947	1.13447

(2) レンダリングによる画像の変化

t=0、t1、t2、t3、t4、t5 の視点位置に応じて、側面位置を変化させ、レンダリングした画像は次のようになる。

(i) 鉛直方向を軸とした回転角度  $\alpha = 5$  の場合



視点 :  $(t,x,y,z)=(t_0,0.315, 0.493, -2.38)$   
 左側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.90277)$   
 右側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,-0.02777)$



視点 :  $(t,x,y,z)=(t_3, 0.579, 0.379, -6.208)$   
 左側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.64177)$   
 右側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.383228)$



視点 :  $(t,x,y,z)=(t_1, 0.403, 0.455, -3.656)$   
 左側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.81577)$   
 右側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.109227)$



視点 :  $(t,x,y,z)=(t_4, 0.667, 0.341, -7.484)$   
 左側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.55477)$   
 右側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0, 0.520229)$



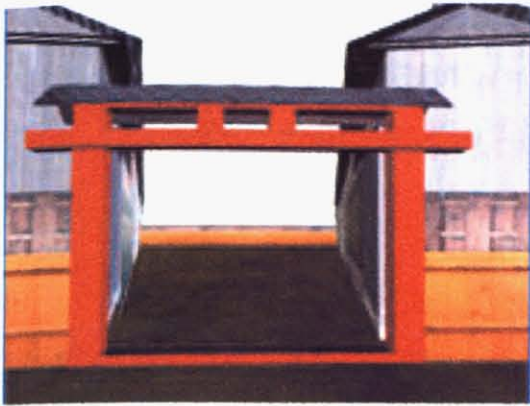
視点 :  $(t,x,y,z)=(t_2, 0.491, 0.417, -4.932)$   
 左側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.72877)$   
 右側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.246228)$



視点 :  $(t,x,y,z)=(t_5, 0.755, 0.303, -8.76)$   
 左側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.46777)$   
 右側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.65723)$

図 4-53 鉛直方向を軸とした回転角度  $\alpha = 5$  の時の視点移動

(ii) 鉛直方向を軸とした回転角度  $\alpha = 10$  の場合



視点 :  $(t,x,y,z)=(t_0,0.315, 0.493, -2.38)$   
 左側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.93053)$   
 右側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,-0.05553)$



視点 :  $(t,x,y,z)=(t_1, 0.403, 0.455, -3.656)$   
 左側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.74253)$   
 右側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.18247)$



視点 :  $(t,x,y,z)=(t_2, 0.491, 0.417, -4.932)$   
 左側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.72877)$   
 右側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.246228)$



視点 :  $(t,x,y,z)=(t_3, 0.579, 0.379, -6.208)$   
 左側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.64177)$   
 右側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.383228)$



視点 :  $(t,x,y,z)=(t_4, 0.667, 0.341, -7.484)$   
 左側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.55477)$   
 右側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.520229)$



視点 :  $(t,x,y,z)=(t_5, 0.755, 0.303, -8.76)$   
 左側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.46777)$   
 右側面 :  $(t,x',y',z')=(t_0,0,0,0.65723)$



図 4-54 鉛直方向を軸とした回転角度  $\alpha = 10$  の時の視点移動

(3) 側面の鳥瞰図

視点移動に伴って移動させる左右側面の鳥瞰図をレンダリングすると次のようになる。

(i) 鉛直方向を軸とした回転角度  $\alpha = 5$  の場合

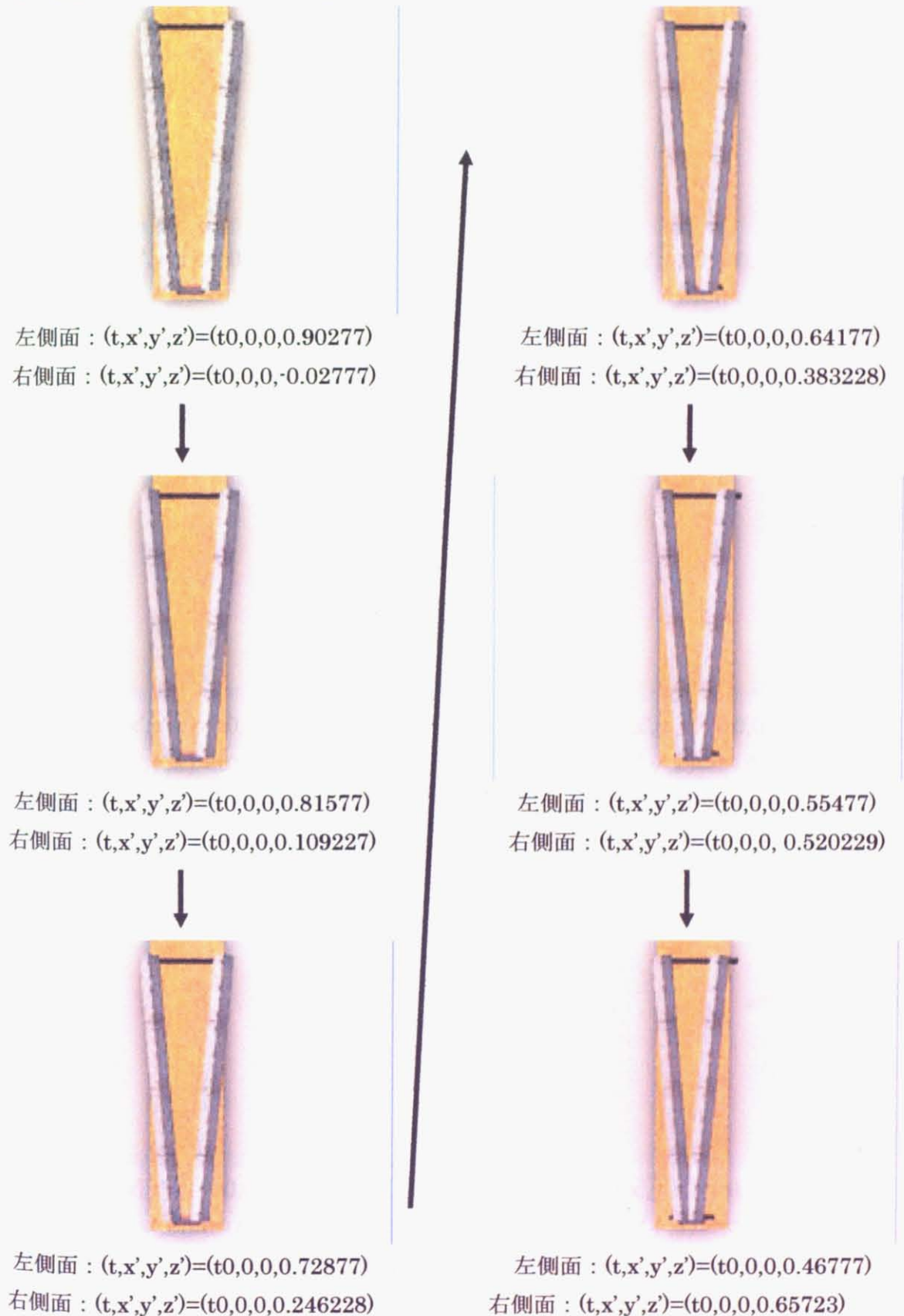
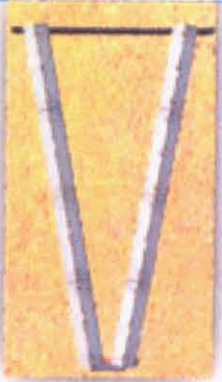


図 4-55 鉛直方向を軸とした回転角度  $\alpha = 5$  の時の側面の移動

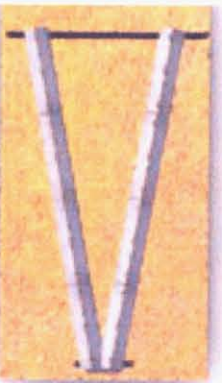
(ii) 鉛直方向を軸とした回転角度  $\alpha = 10$  の場合



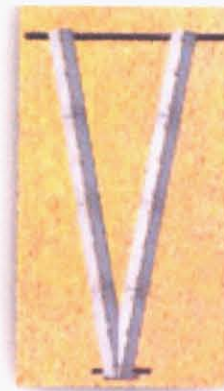
左側面 :  $(t, x', y', z') = (t0, 0, 0, 0.93053)$   
 右側面 :  $(t, x', y', z') = (t0, 0, 0, -0.05553)$



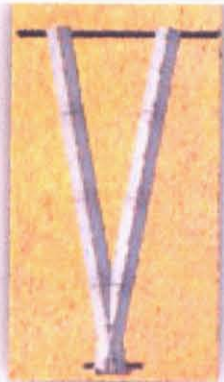
左側面 :  $(t, x', y', z') = (t0, 0, 0, 0.74253)$   
 右側面 :  $(t, x', y', z') = (t0, 0, 0, 0.18247)$



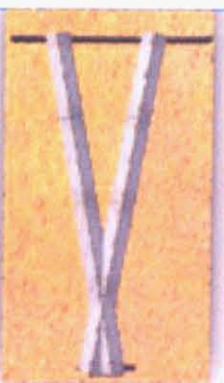
左側面 :  $(t, x', y', z') = (t0, 0, 0, 0.72877)$   
 右側面 :  $(t, x', y', z') = (t0, 0, 0, 0.246228)$



左側面 :  $(t, x', y', z') = (t0, 0, 0, 0.64177)$   
 右側面 :  $(t, x', y', z') = (t0, 0, 0, 0.383228)$



左側面 :  $(t, x', y', z') = (t0, 0, 0, 0.55477)$   
 右側面 :  $(t, x', y', z') = (t0, 0, 0, 0.520229)$



左側面 :  $(t, x', y', z') = (t0, 0, 0, 0.46777)$   
 右側面 :  $(t, x', y', z') = (t0, 0, 0, 0.65723)$



図 4-56 鉛直方向を軸とした回転角度  $\alpha = 10$  の時の視点移動



#### (4) 視点移動に伴う左右側面の間隔の変化

再構成する構図法のうち鉛直方向を軸に側面を回転させる方法において、視点移動に伴い、側面も移動させた場合、左右側面の間隔が変化するか否かをまとめると次のようになる。

表 4-59 視点移動に伴う左右側面の上下辺の交点の間隔

鉛直方向を軸とした回転角度 $\alpha$	左右側面の上下辺の交点の間隔
$\alpha = 0 (^{\circ})$	変化しない
$\alpha = 5 (^{\circ})$	変化しない
$\alpha = 10 (^{\circ})$	変化しない

#### (D) まとめ

再構成する構図法のうち鉛直方向を軸に側面を回転させる方法を 3DCG に応用する場合、視点位置の移動に伴い、側面も移動させることによって、視点移動を表現できるか否かは次のようになる。

表 4-60 視点位置を変化させることによる視点移動表現の可能性

鉛直方向を軸とした回転角度 $\alpha$	視点移動表現の可能性
$\alpha = 0 (^{\circ})$	可能
$\alpha = 5 (^{\circ})$	可能
$\alpha = 10 (^{\circ})$	可能

### 4.3.6.5 3DCGアニメーションによる実証

#### (A) 目的

鉛直方向を軸とした回転角度を変数とした再構成の構図法を、視点移動に対応させて側面も移動させることによって、視点移動の 3DCG アニメーションに応用できることを検証する。

#### (B) 方法

鉛直方向を軸とした回転角度を変数とした再構成の構図法を、3DCG アニメーションに応用できることを検証するためには、4.3.6.4 のように視点移動の軌跡とそれに伴う側面移動の軌跡を設定し、その移動を自動化させて、レンダリングする映像が、左右側面の間隔を維持しているかどうかを調べる。そのためには、Viewpoint Scene Builder を用いて、視点移動、側面移動のタイムラインを作成し、次にレンダリングしてアニメーションを作成する。

視点移動の軌跡は、次のように設定する。4.3.6.2 で作品 5 に基づいて設定した視点位置を初期

値とし、4秒目から8秒目で奥行き方向を奥に向かって移動、8秒目から11秒目までで視線の向きを180度変化させ、11秒目から14秒目で奥行き方向を門に近づくように移動、16秒目から18秒目で初期位置よりも奥行き方向を奥から離れるように移動、18秒目から20秒目で視線の向きを180度変えて、20秒目に再び初期位置に戻るようにする。

(1) 視点の軌跡を表す各時間の座標は表4-61のように表すことができ、各時間の視線の角度は表4-62のように表すことができ、下記に示した時間と時間の間の視点移動は、線形に補完することができる。(ただし座標軸は、前項同様、高さ方向を鉛直方向、建物の側面の上下辺に平行な方向を奥行き方向、鉛直方向と奥行き方向の両方に垂直な方向を水平方向とする。)

(a) 各時間の視点の位置

表 4-61 視点移動のアニメーション

時間	視点の位置		
	x 座標	y 座標	z 座標
0	-0.875	0	-0.45
4	-0.575	0	-0.45
8	-11.5	0	-0.45
11	-11.445	0	2.265
12	-9.185	-0.4	3.29
13	-6.51	0	2.12
14	-5.755	0	-0.45
16	-5.755	0	-0.315
18	6.755	0	-0.415
20	-0.875	0	-0.45

(b) 各時間の視線の角度

表 4-62 視線回転のアニメーション

時間	視線の角度 (°)		
	x 軸を回転軸	y 軸を回転軸	Z 軸を回転軸
0	0	-90	7
4	0	-90	-3
8	0	-90	-3
11	0	-135	-3
12	0	-180	0
13	0	-225	3

14	0	-270	3
16	0	-270	3
18	0	-270	7
20	0	-90	7

前項で構築した 3D モデルのソースファイルに加えて、下記のような視点移動を表すタイムラインの記述を加える。

```

<MTSTimeElem Type="Keyframe" Name="camera" On="0" >
  <Target Name="MTSCamera" Property="crot" Timeline="cameraT1" />
  <Target Name="MTSInstance.MTSRootInstance" Property="loc_"
Timeline="cameraT2" />
  <Time>
    0      2      4      8      11     12     13     14
16     18     20
  </Time>
  <Timeline Name="cameraT1" Type="3D" >
    *      -      [0 -90 -3]      [0 -90
-3]      [0 -135 -3]      [0 -180 0]      [0 -225 3]      [0 -270 3]
[0 -270 3]      [0 -270 7]      *
  </Timeline>
  <Timeline Name="cameraT2" Type="3D" >
    *      -      [-0.575 0 -0.45] [-11.5
0 -0.45] [-11.445 0 2.265] [-9.185 -0.4 3.29]
[-6.51 0 2.12] [-5.755 0 -0.45] [-5.755 0 -0.315] [6.755 0 -0.415] *
  </Timeline>
</MTSTimeElem>

```

(2) 鉛直方向を軸に  $\alpha = 5^\circ$ 、 $10^\circ$  回転させた 3D モデルの、左右の建物の位置の初期値は、前項で設定したのと同じ値とし、角度  $\alpha = 5^\circ$  のとき、左の建物の座標  $(0, 0, 0.902077)$  右の建物の座標  $(0, 0, -0.27774)$ 、角度  $\alpha = 10^\circ$  のとき、左の建物の座標  $(0, 0, 0.93053)$  右の建物の座標  $(0, 0, -0.05553)$  とする。視点移動距離  $(x_e - x_{e0})$  に対応して次の式で求められる値  $l$  を求め、角度  $\alpha = 10^\circ$  のとき、左建物の座標  $(0, 0, 0.902077+l)$  右の建物の座標  $(0, 0, -0.27774-l)$ 、角度  $\alpha = 10^\circ$  のとき、左の建物の座標  $(0, 0, 0.93053+l)$  右の建物の座標  $(0, 0, -0.05553-l)$  を算出する。次式が成り立つ理由は、視点から奥行き方向に一定距離の左右側面の間隔を一定に保つためである。

$$l = (x_e - x_{e0}) \times \tan \alpha \quad (\text{数式 4-18})$$

$(x_e$  : 視点の x 座標、 $x_{e0}$  : 視点の初期位置)

(3) Viewpoint Scene Builder を用いてアニメーション実行できるようにするため、timeline として、視点移動と左右の建物の移動を座標で記述する。Viewpoint Scene Builder によってレンダリングして、アニメーションを作成する。

(C) 結果

(1) 各時間における左右の建物の位置

表 4-61 より求められる移動距離視点移動距離( $x_e - x_o$ )と、角度  $\alpha = 5, 10$  を数式 4-18 に代入し、左建物の座標  $(0, 0, 0.902077+l)$  右建物の座標  $(0, 0, -0.27774 \cdot l)$ 、角度  $\alpha = 10^\circ$  のとき、左建物の座標  $(0, 0, 0.93053+l)$  右建物の座標  $(0, 0, -0.05553 \cdot l)$  を算出すると次のようになる。

表 4-63 視点移動に対応させる左右建物の位置

時間	鉛直方向を軸として 5° 回転させる場合 ( $\alpha = 5$ )		鉛直方向を軸として 10° 回転させる場合 ( $\alpha = 10$ )	
	左の建物の z 座標	右の建物の Z 座標	左の建物の z 座標	右の建物 の z 座標
0	0.90277	-0.027774	0.93053	-0.05553
4	0.911105477	-0.036109477	0.938865477	-0.072213835
8	0.607555177	0.267440823	0.635315177	0.53535581
11	0.609083348	0.265912652	0.636843348	0.532297107
12	0.671877278	0.203118722	0.699637278	0.406612219
13	0.746201951	0.128794049	0.773961951	0.257848027
14	0.767179569	0.107816431	0.794939569	0.215860377
16	0.767179569	0.107816431	0.794939569	0.215860377
18	1.114768974	-0.239772974	1.142528974	-0.479855528
20	0.90277	-0.027774	0.93053	-0.05553

(2) 左右の建物の位置変化を表す記述

表 4-63 にまとめた、視点移動に対応させた左右の建物の位置の座標を、ソースファイルに記述すると次のようになる。

(i) 鉛直方向を軸とした回転角度  $\alpha = 5$  の場合

```
<MTSTimeElem Type="Keyframe" Name="camera" On="0" >
    <Target Name="MTSInstance.house_left1" Property="loc_"
Timeline="houseT1" />
```

```

        <Target      Name="MTSInstance.house_right1"      Property="loc_"
Timeline="houseT2" />
      </Timeline>
      <Timeline Name="houseT1"  Type="3D" >
          *          -          [0 0 0.911105]  [0  0
0.607555]  [0 0 0.609083]  [0 0 0.671877]
[0 0 0.746202]  [0 0 0.76718]  [0 0 0.76718]  [0 0 0.90277]  *
      </Timeline>
      <Timeline Name="houseT2"  Type="3D" >
          *          -          [0  0  -0.036109477]
          [0 0 0.267440823]  [0 0 0.265912652]  [0 0 0.203118722]
[0 0 0.128794049]  [0 0 0.107816431]  [0 0 0.107816431]  [0 0 -0.02777]
          *
      </Timeline>
</MTSTimeElem>

```

(ii) 鉛直方向を軸とした回転角度  $\alpha = 10$  の場合

```

<MTSTimeElem Type="Keyframe"  Name="camera"  On="0" >
      <Target      Name="MTSInstance.house_left1"      Property="loc_"
Timeline="houseT1" />
      <Target      Name="MTSInstance.house_right1"     Property="loc_"
Timeline="houseT2" />
      <Time>
          0      2      4      8      11      12      13      14
16      18      20
      </Time>
      </Timeline>
      <Timeline Name="houseT1"  Type="3D" >
          *          -          [0  0  0.938865477]
          [0 0 0.635315177]  [0 0 0.636843348]  [0 0 0.699637278]
[0 0 0.773961951]  [0 0 0.794939569]  [0 0 0.794939569]  [0 0 0.93053]
          *
      </Timeline>
      <Timeline Name="houseT2"  Type="3D" >
          *          -          [0  0  -0.072213835]
          [0 0 0.53535581] [0 0 0.532297107]  [0 0 0.406612219]

```

[0 0 0.257848027]

[0 0 0.215860377]

[0 0 0.215860377]

[0 0 -0.05553]

\*

</Timeline>

</MTSTimeElem>

### (3) 視点移動に伴う左右側面の間隔の変化

再構成する構図法のうち鉛直方向を軸に側面を回転させる方法を3DCGアニメーションに応用した場合、視点移動に伴い、側面も移動させた場合、左右側面の間隔が変化するか否かをまとめると次のようになる。

表 4-64 視点移動に伴う左右側面の上下辺の交点の間隔

鉛直方向を軸とした回転角度 $\alpha$	左右側面の上下辺の交点の間隔
$\alpha = 5 (^{\circ})$	往路：変化しない 復路：変化する (視線の回転に対応させて、側面を移動させれば変化しない。)
$\alpha = 10 (^{\circ})$	往路：変化しない 復路：変化する (視線の回転に対応させて、側面を移動させれば変化しない。)

### (D) まとめ

再構成する構図法のうち鉛直方向を軸に側面を回転させる方法を3DCGアニメーションに応用する場合、視点位置の移動に伴い、側面も移動させることによって、視点移動を表現できるか否かは次のようになる。

表 4-65 視点移動表現の可能性

鉛直方向を軸とした回転角度 $\alpha$	視点移動表現の可能性
$\alpha = 5 (^{\circ})$	可能
$\alpha = 10 (^{\circ})$	可能

#### 4.4 浮世絵の非透視図を再構成する構図法のまとめ

##### (1) 2次元で再構成する構図法の変数

一点透視図を基準にした図 4-55 に示す左右側面の寸法 (図の  $w_a$   $w_b$   $h_a$   $h_b$   $h_{gh}$   $h_{ij}$   $h_h$   $h_j$ ) を変数とする構図法によって、浮世絵の非透視図を再現できることが検証できた。また、変数への入力を自在に変化させることによって、多様な非透視図を再構成することができる。

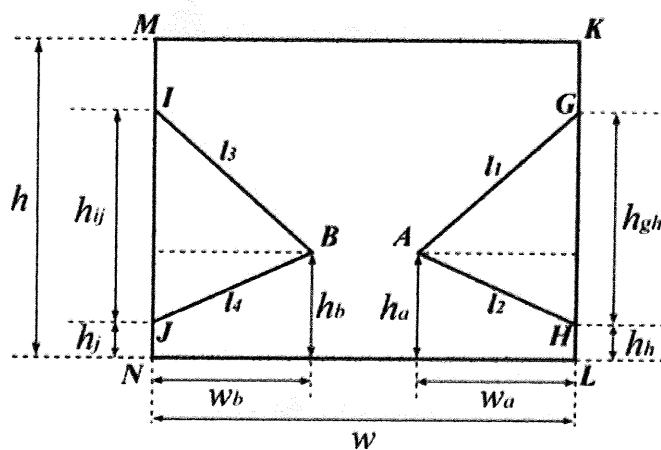


図 4-57 2次元で再構成する構図法の変数

##### (2) 3次元で再構成する構図法の変数

直方体モデルを基準とし、次の角度を変数とする構図法によって、浮世絵の非透視図を再現できることが検証できた。また、変数への入力を自在に変化させることによって、多様な非透視図を再構成することができる。この構図法は幾何学的にも検証でき、3DCGアニメーションへの応用が可能であることも実証できた。

- ①鉛直方向を軸とした回転角度
- ②水平方向を軸とした回転角度
- ③奥行き方向を軸とした回転角度

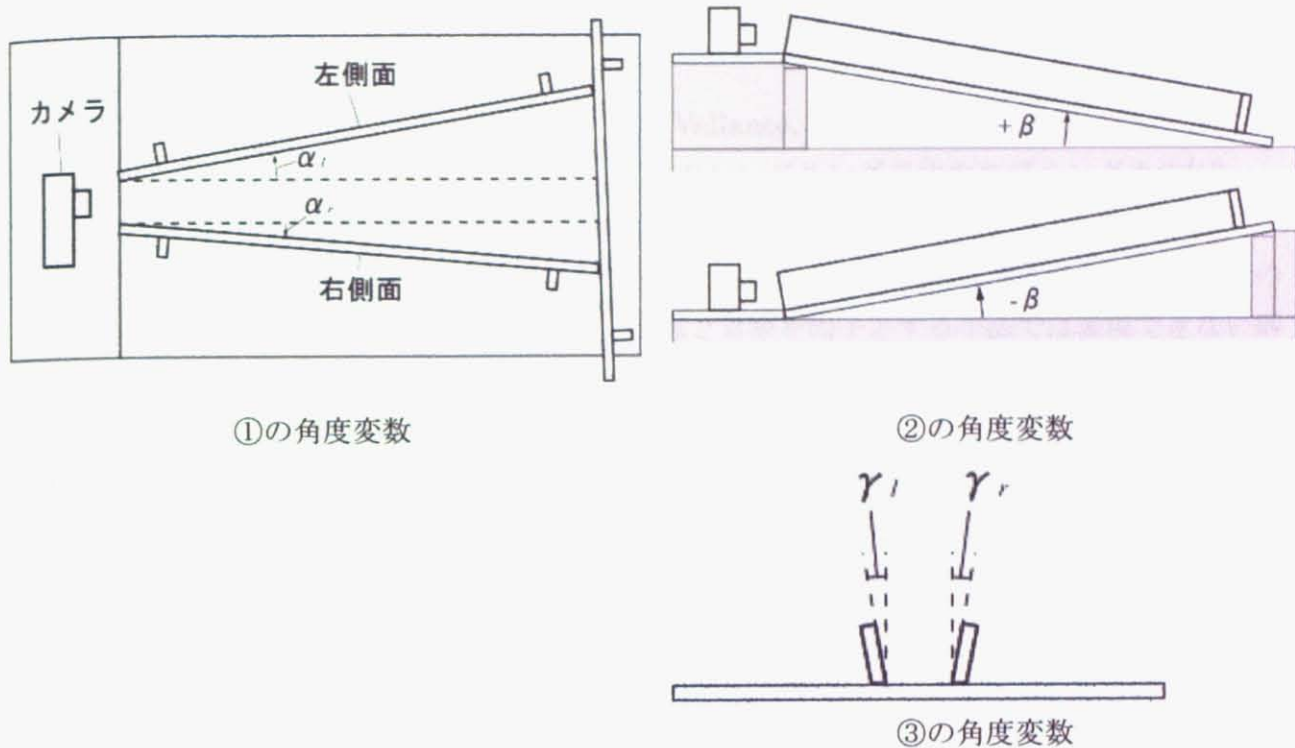


図 4-58 3次元で再構成する構図法の変数

## 4.5 考察

### (1) 日本美術の構図法の刷新

日本の藝術の特徴の一つである非透視図に関する先行研究は、定性的な分析のみで、構図の再現手法が導かれることはなかった。しかし本研究では、3章において透視図法伝来以降の浮世絵の構図を定量的に分析したため、浮世絵の非透視図を再現できる方法を得ることができた。とくにその方法を、3DCGアニメーションに応用できることを検証できた。

図学と建築学分野の先行研究では、構図の再現手法を定量的に示す事例もあったが、既存の浮世絵の構図を正確に再現することを目的としているので、応用性に限界があった。これに対し本研究では、構図法の変数のみを浮世絵の非透視図の特徴から導いているが、変数への入力値を自在に変化させられるようにすることによって、浮世絵の非透視図の特徴は引き継ぐが、多様な構図を作成できる手法を導いた。これにより、アニメーションのような浮世絵とは様相の異なるコンテンツの作成にも応用できると考える。このような構図法を導いた研究は、他に例がない。

### (2) 商用藝術のための構図法

3DCGは分業体制で作成された要素の構成作業を自動化し、生産性を向上するので、商用藝術制作において導入することが有効である。しかし要素の構成を自動化することは一方で、構図を標準化することにつながるため、他作品との差別化をする芸術性に限界を与えることになる。



この問題を解決するため、3DCGによって透視図以外の構図を生成する技術開発はこれまでも存在した。

例えば、マルチパースペクティブレンダリング[Vallance, Calder, 2006][Vallance, Calder, 2003][Vallance, Calder, 2001]や、パノラマ描写のレンダリング手法やモデリング手法[Chu, Tai, 2001][Horry, Anjyo, Arai, 1997]がある。しかしこれらは、視点と対象（または、スクリーンと対象）を構図決定の因子とする点で、透視図と変わらなく、表現に限界がある。本研究の構図法は、側面の寸法を構図決定の因子とし、視点と対象を因子とする手法では表現できない構図も作成することができる。

また、3DCGで多様な構図を表現できる手法としては、3次元における手描きを可能にする方法や、入力できる変数を最大に拡張したインタラクティブな方法もある。しかしこれらは、ユーザーの作業量を拡大するので、生産性を低下させる可能性がある。本研究の構図法は、浮世絵の非透視図から導いた、側面の寸法という変数のみに限定している。また、構図決定の因子を視点と対象に限定していないが、3次元モデルを変化させるという方法によって、3DCGの原理には適合させている。これより、浮世絵に基づく藝術性を得ながらも、ユーザーの作業量を拡張させないことができる。

### (3) 実用化への課題

4.3.6では浮世絵の非透視図の特徴を3次元で再構成する構図法は、3DCGに応用できることが検証できた。求める非透視図を構築する具体的な手順は、初めに3次元モデルにおける側面を、鉛直または水平または奥行き方向を軸に回転させ、次に視点移動に対応させて側面も移動させる。この手順を効率化するため、次のことが今後の課題である。

①初期状態における側面の角度と、視点移動の軌跡と速度から、側面移動の軌跡と速度を自動的に計算させるプログラムの作成。

②2次元に表した非透視図から、3次元モデルにおける側面の、鉛直または水平または奥行き方向を軸とした回転角度を自動的に計算させるプログラムの作成。

さらに、実写映像のように、3次元モデルを変化させることが不可能な場合に应用するためには、鉛直または水平または奥行き方向を軸とした側面の回転によって成り立っていた側面と視点との関係性を、視点特性を変化させることによって成り立たせるレンダリング技術に応用すること求められる。

また、アニメーションで構図を設計するのは、監督や演出が絵コンテを作成する工程であることが多く、とくに日本では手描きである。監督や演出が手で描いた絵コンテの非透視図から、3次元モデルにおける側面の、鉛直または水平または奥行き方向を軸とした回転角度を自動的に計算することができれば、さらにアニメーション制作の効率化を行うことができる。