

# 長方形を利用した絵画のアーカイブ

岡本 清明\*1 徐 剛\*2

あらまし 近年、デジタルアーカイブが盛んに進められ、絵画のアーカイブも急速に発展してきた。絵画をアーカイブにするには、絵画の真正面からデジタルカメラ等を用いて撮影することで行われる。しかし、比較的大きな絵画や絵画が壁に掛けられている場合、高価な機材を必要としたり、広い場所が必要となる。そこで、どの方向から撮影しても、正面画像を得ることができれば大変効率的である。本論文では、絵画が長方形であることを利用して、絵画の正面画像を生成する手法について提案する。さらに、シミュレーション実験、正面画像変換後の精度実験により、本手法の有効性を示す。

## Digital Archive of Pictures Using Rectangles

Kiyoaki Okamoto and Gang Xu

**Abstract** Recently, digital archive of pictures has been developed rapidly. When we digitalize archive of pictures, we usually take photos from front. But sometimes it is difficult. We note that pictures are rectangle in many cases, and we propose a method of generating frontal images using rectangles. Finally the accuracy of this method is demonstrated through the simulation experiments and real images.

### 1 まえがき

近年、コンピュータグラフィックス (CG)・コンピュータビジョン (以下 CV) 研究や CAD などの発展により、貴重な文化財・文化遺産、歴史豊かな文化や芸能などのデジタル記録・保存、デジタルアーカイブの研究が盛んに進められている [1][2]。そして、絵画のアーカイブも発展してきている。絵画のアーカイブには、デジタルカメラ等を用いて撮影が行われる。絵画のアーカイブは、一般的に真正面から見た画像を用いられる。小さな絵画であれば比較的真正面から撮影することは、容易である。しかし、比較的大きな絵画や絵画が壁に掛けられている場合、高価な機材や、広い場所が必要となる。そこで、斜め方向した画像した絵画が、あたかも正面から撮影されたような正面画像に変換できれば、大変効率的に絵画のアーカイブを作成することができる。

### 2 概論

斜め方向から撮影した画像を正面画像に変換するには、撮影対象の既知でなければならない。画像から撮影対象の形状を知るためには、形状の3次元復元をすることがまず考えられる。画像から3次元復元する手法は、CVの分野で数多く提案されてきた。特に、3次元復元の手法には、複数枚の画像を用いて3次元復元を行う手法 [7][8] が盛んに行われてきた。しかし、3次元復元をする対象物体の画像が1枚しか存在しない場合が多々あり、できるなら1枚から復元できる方が望ましい。画像1枚から3次元復元を行うためには、何らかの拘束条件が必要であり、従来の方法としては消失点 [5][6]、3次元座標が既知の点集合 [3]、3次元の距離が既知 [4] 等が挙げられる。本手法でも、画像1枚から3次元復元をする手法を用いるが、本手法の拘束条件として、対象物体が長方形であり、画像内に長方形の4頂点が写っていることを使用する。

本手法の利点としては、大きく次の3点が挙げられる。

- 焦点距離、アスペクト比の算出が容易  
長方形の4頂点の座標を入力するだけで1枚の画像から焦点距離、アスペクト比を求めることができる。
- 安定な解  
基本的に1枚の画像から3次元復元する手法としては、消失点を用いた手法が主に使用されてきたが、消失点を用いた手法では、消失点を求める際に用いる直線の2本が平行に近い場合、算出される焦点距離が不安定となる場合があった。本手法では不安定となる

\*1 立命館大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering  
, Ritsumeikan University

\*2 立命館大学情報理工学部

College of Information Science and Engineering  
, Ritsumeikan University

場合を計算過程で判断することができる。6章で消失点を用いた手法と本手法の安定性を比較した実験結果を示す。

- 正面画像生成  
3次元復元の際に算出された回転行列、並進ベクトルを用いて正面画像を生成することができる。

### 3 長方形の射影

普段私達が見る画像はデジタル画像と呼ばれるものである。デジタル画像の座標系は座標の原点は左上にあり、右方向が横軸  $u$ 、下方向が縦軸  $v$  である。しかし、射影関係を記述する場合には、正規化画像座標系を用いた方が便利であるので、デジタル画像座標系を正規化画像座標系へ変換する。式は以下のように表される。ここでは拡張ベクトルを示す。

$$\tilde{\mathbf{n}} = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}} \quad (1)$$

ここで、 $\tilde{\mathbf{n}} = [u, v, 1]^T$ 、 $\tilde{\mathbf{x}} = [x, y, 1]^T$  はそれぞれデジタル画像座標  $(u, v)$  と正規化画像座標  $(x, y)$  の拡張ベクトルである。行列  $\mathbf{A}_1$  はカメラ内部行列であり、以下のように表される。 $[u_0, v_0]$  は画像中心、 $\alpha_u, \alpha_v$  は画像の両座標軸の間の単位長と焦点距離の積、 $b$  は両座標軸のスキュー (skew) である。

$$\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} \alpha_u & b & u_0 \\ 0 & \alpha_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

しかし、最近のカメラの性能の向上により、行列  $\mathbf{A}_1$  は以下のようにも表すことができ、本論文でもこれを利用する [9]。また  $[u_0, v_0]$  は、画像の縦、横のサイズの半分の値とする。

$$\mathbf{A}_2 = \begin{bmatrix} f & 0 & u_0 \\ 0 & f & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

更に、 $\tilde{\mathbf{m}} = \begin{bmatrix} u - u_0 \\ v - v_0 \\ 1 \end{bmatrix}$  と定義すると、 $\tilde{\mathbf{m}} = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}}$  となり、

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

と表すこともできる。

次に、正規化座標系を世界座標系に変換する。正規化座標系における座標を  $\mathbf{M}_c$ 、世界座標系における座標を  $\mathbf{M}_w$ 、回転行列を  $\mathbf{R}$ 、並進ベクトルを  $\mathbf{t}$  とすると、次式のように表すことができる。

$$\mathbf{M}_c = \mathbf{R}\mathbf{M}_w + \mathbf{t} \quad (2)$$

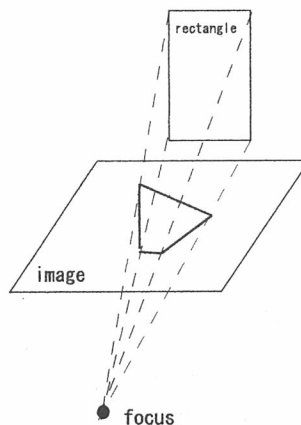


図 1: 長方形の射影

長方形が画像に射影される様子を図 1 に示す。長方形の各頂点と焦点を結ぶと、図 1 のような四角形が画像上に射影される。

次に長方形の面を  $XY$  平面とし、長方形の中心の座標を  $(0, 0, 0)$ 、長方形の縦、横の長さをそれぞれ  $2a, 2b$  とすることで、図 2 のように長方形の各頂点を定義する。

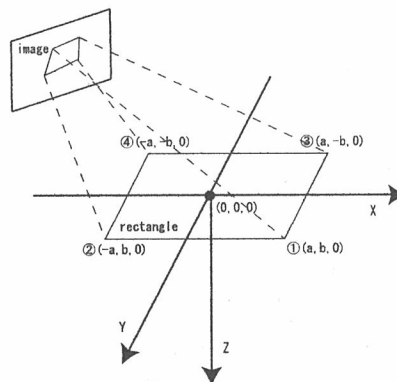


図 2: 実画像と 3 次元モデルの関係

すると式 (1) と式 (2) より式 (3) のようにデジタル画像座標と世界座標との関係を表すことができる。ここで、回転行列は  $\mathbf{R} = [\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3]$ 、並進ベクトルは  $\mathbf{t}$  とする。

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 0 \end{bmatrix} + \mathbf{t} = \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 & \mathbf{r}_2 & \mathbf{t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}$$

ここで、 $\mathbf{H} = [\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{t}]$  とすると以下のように表される。

$$\tilde{\mathbf{m}} = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}} \hat{=} \mathbf{A}\mathbf{H} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

よって、各頂点に対しての関係式は以下の4つの式となる。  $s_i$  はカメラ焦点から各頂点までの奥行きを表し、それぞれの式で表されている数式記号中の番号は、図2で示した頂点番号と対応している。

$$s_1 \tilde{\mathbf{m}}_1 = \mathbf{A}\mathbf{H} \begin{bmatrix} a \\ b \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$s_2 \tilde{\mathbf{m}}_2 = \mathbf{A}\mathbf{H} \begin{bmatrix} -a \\ b \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$s_3 \tilde{\mathbf{m}}_3 = \mathbf{A}\mathbf{H} \begin{bmatrix} a \\ -b \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$s_4 \tilde{\mathbf{m}}_4 = \mathbf{A}\mathbf{H} \begin{bmatrix} -a \\ -b \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

## 4 長方形の3次元復元アルゴリズム

長方形の各頂点における4つの式から、焦点距離とアスペクト比を算出することができる。各頂点における式(4)等で用いられている未知数の数は、焦点距離  $f$ 、回転ベクトル  $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2$ 、並進ベクトル、長方形の縦と横の長さの半分  $a$  と  $b$  の計8つである。8個の方程式があるので、これらの未知数を求めることは可能である。また、回転ベクトル  $\mathbf{r}_3$  も、 $\mathbf{r}_1$  と  $\mathbf{r}_2$  に直交するので、算出することができる。

焦点距離とアスペクト比の算出をする。まず、式(4)と式(7)の和と式(5)と式(6)の和は等しくなるので次式が成り立つ。

$$s_1 \tilde{\mathbf{m}}_1 + s_4 \tilde{\mathbf{m}}_4 = s_2 \tilde{\mathbf{m}}_2 + s_3 \tilde{\mathbf{m}}_3$$

となり、これを変形すると、

$$\begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{m}}_1 & -\tilde{\mathbf{m}}_2 & -\tilde{\mathbf{m}}_3 & \tilde{\mathbf{m}}_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \end{bmatrix} = 0$$

となる。これより、 $\mathbf{B} = [\tilde{\mathbf{m}}_1, -\tilde{\mathbf{m}}_2, -\tilde{\mathbf{m}}_3, \tilde{\mathbf{m}}_4]$  とすると、 $\mathbf{B}^T \mathbf{B}$  の最小固有値に対応する固有ベクトルとして、 $s_1, s_2, s_3, s_4$  を求めることができる。空間の尺度は本来確定できないが、 $s_1, s_2, s_3, s_4$  の自乗和が1であることにより、とりあえず与えられる。次に、式(4)、式(5)、式(6)、式(7)をそれぞれ以下の4式となるように変形する。

$$\mathbf{A}^{-1} s_1 \tilde{\mathbf{m}}_1 = \mathbf{H} \begin{bmatrix} a \\ b \\ 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\mathbf{A}^{-1} s_2 \tilde{\mathbf{m}}_2 = \mathbf{H} \begin{bmatrix} -a \\ b \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\mathbf{A}^{-1} s_3 \tilde{\mathbf{m}}_3 = \mathbf{H} \begin{bmatrix} a \\ -b \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\mathbf{A}^{-1} s_4 \tilde{\mathbf{m}}_4 = \mathbf{H} \begin{bmatrix} -a \\ -b \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

式(9)と式(11)の差より次式が得られる。

$$\boldsymbol{\alpha} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix} = s_2 \tilde{\mathbf{m}}_2 - s_4 \tilde{\mathbf{m}}_4 \quad (12)$$

とすると、

$$2br_2 = \mathbf{A}^{-1} \boldsymbol{\alpha} \quad (13)$$

式(10)と式(11)との差より次式が得られる。

$$\boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix} = s_3 \tilde{\mathbf{m}}_3 - s_4 \tilde{\mathbf{m}}_4 \quad (14)$$

とすると、

$$2ar_1 = \mathbf{A}^{-1} \boldsymbol{\beta} \quad (15)$$

式(9)と式(10)の和より次式が得られる。

$$2\mathbf{t} = \mathbf{A}^{-1}(s_2 \tilde{\mathbf{m}}_2 + s_3 \tilde{\mathbf{m}}_3) \quad (16)$$

次に式(13)と式(15)の内積をとると次式が得られる。

$$\boldsymbol{\alpha}^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \boldsymbol{\beta} = 0 \quad (17)$$

次に式(13)同士の内積をとると次式が得られる。

$$\boldsymbol{\alpha}^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \boldsymbol{\alpha} = 4b^2 \quad (18)$$

次に式(15)同士の内積をとると次式が得られる。

$$\boldsymbol{\beta}^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \boldsymbol{\beta} = 4a^2 \quad (19)$$

式(17)に式(12)と式(14)を代入すると次式が得られる。

$$= \frac{1}{f^2} (\alpha_1 \beta_1 + \alpha_2 \beta_2 + \alpha_3 \beta_3 f^2) = 0$$

これを  $f$  について解くと以下ようになる。

$$f = \sqrt{-\frac{\alpha_1 \beta_1 + \alpha_2 \beta_2}{\alpha_3 \beta_3}} \quad (20)$$

この式(20)を解くことで焦点距離が求められる。しかし、ここで画像に写っている四角形の形状によって、正確な焦点距離が求めることができない場合がある。分母が0や限りなく0に近い場合が生じる場合である。この問題については次章で詳しく説明する。算出された焦点距離  $f$  を、式(18)、式(19)に代入し、長方形の縦横の長さの半分  $a, b$  を求める。次に算出された焦点距離  $f$ 、長方形の縦横の長さの半分  $a, b$  を式(13)、(15)、(16)に代入すると、行列  $\mathbf{H} = [\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{t}]$  を求めることができる。更に、 $\mathbf{r}_3 = \mathbf{r}_1 \times \mathbf{r}_2$  として回転ベクトルと並進ベクトルに分解できる。

## 5 退化

本章では、4章で焦点距離が求めることができない場合があると述べたが、その詳細を説明する。これは、平行性を利用する消失点を用いた場合と類似している。式(20)の焦点距離の算出時に、分母となる $\alpha_3, \beta_3$ のいずれかが0となっていればこの式は成立しない。ここで $\alpha_3 = (s_2 - s_4)$ 、 $\beta_3 = (s_3 - s_4)$ であり、 $s_2 = s_4$ 、または、 $s_3 = s_4$ であれば $\alpha_3$ 、または $\beta_3$ は0になる。 $s_i$ はカメラ焦点から各頂点までの奥行きであり、等しいということは同じ奥行き、つまり画像平面に対して、それぞれの頂点を結んだ直線が平行であることを意味する。そこで、 $\alpha_3, \beta_3$ の値が0に近ければ平行であると判定し、焦点距離の値が不安定な場合を検出する。しかし、この焦点距離の値を算出出来ない場合、つまり式(20)の分母が0となる際に、以下の3つに場合分けすることで、焦点距離を求めずに、いくつかのパラメータを算出することが可能となる。

1.  $\alpha_3 = 0$  かつ  $\beta_3 \neq 0$  の場合

式(13)を $r_2$ の式になるように変形し、 $\alpha_3$ に0を代入すると次式が得られる。

$$r_2 = \frac{1}{2b} \begin{bmatrix} \frac{\alpha_1}{f} \\ \frac{\alpha_2}{f} \\ 0 \end{bmatrix}$$

すると、 $\|r_2\| = 1$ からbfを求める。求めたbfを用いて $r_2$ を求める。 $r_1$ は一意に求まらない。

2.  $\alpha_3 \neq 0$  かつ  $\beta_3 = 0$  の場合

条件(1)と同様に式(15)を変形し、 $\beta_3$ に0を代入する。

$$r_1 = \frac{1}{2a} \begin{bmatrix} \frac{\beta_1}{f} \\ \frac{\beta_2}{f} \\ 0 \end{bmatrix}$$

そして、 $\|r_1\| = 1$ からafを求める。求めたafを用いて $r_1$ を求める。 $r_2$ は一意に求まらない。

3.  $\alpha_3 = 0$  かつ  $\beta_3 = 0$  の場合

条件(1)、(2)と同様にしてaf、 $r_2$ 、bf、 $r_1$ を求める。 $r_1$ と $r_2$ より $r_3$ を求める。更にafとbfの両方が求まるので、aとbの比(アスペクト比)が求まる。

また、並進ベクトルtについては、3つすべての条件下で、焦点距離を含んだ並進ベクトルであれば、式(16)より求めることができる。

## 6 正面画像生成

本手法で用いられている回転ベクトルと並進ベクトルは、世界座標系の長方形とデジタル画像座標系の四角形間のものであるが、画像間における回転ベクトルと並進ベクトルと考えることも出来る。つまり1枚の画像には長方形が写っており、2枚目の画像には四角形が写っていると考えると、3次元復元の際に求められた回転ベクトルと並進ベクトルを利用することで、歪んだ四角形を長方形に変換し正面画像を生成することができる。正面画像を生成するための式は以下のように表される。入力するデジタル画像座標をm、正面画像変換後のデジタル画像座標を $m'$ とする。

$$sm' = H^{-1}A^{-1}m \quad (21)$$

## 7 実験結果

シミュレーション実験と実データを用いた実験、更に消失点を用いた場合との比較を行い、本手法の有効性を確かめる。

### 7.1 シミュレーション実験

シミュレーション実験の準備として、長方形を斜め方向からみたシミュレーション画像を想定し、式(4)、式(5)、式(6)、式(7)にデジタル画像座標を得ることができるように任意のカメラ内部変数、外部変数、長方形の縦、横の長さを設定しデジタル画像座標を4点算出した。次に算出した4点の座標にガウス誤差を加えた。ここで画像枚数は1枚、画像サイズは1000×1000ピクセルと設定しているため、4点の座標はこの範囲内の座標と設定している。最後に本手法を実行し、焦点距離、アスペクト比(長方形の縦、横の長さにより算出)の誤差結果を観察した。

表 1: 焦点距離とアスペクト比のシミュレーション結果

	真値	$\sigma=0.0$	$\sigma=1.0$	$\sigma=2.0$	$\sigma=3.0$
f	1000	1000	999.485	999.271	999.107
アスペクト比	2.000	2.000	2.000	2.001	2.001

本手法を行う場合、カメラの焦点距離の推定をまず行う。したがって、カメラの焦点距離が正確であれば、その後に算出されるアスペクト比も正確となる。そこで、表1中の焦点距離に注目し、図3に誤差結果をグラフで示す。

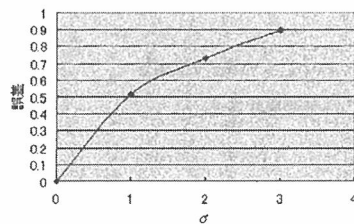


図 3: 焦点距離の誤差

### 7.2 実画像実験

立命館大学びわこ草津キャンパス内のエポック2の1階にある絵画で実画像を用いて実験を行った。原画像を図4に、正面画像生成後の画像を図5に示す。

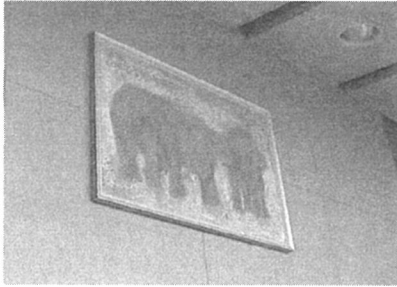


図 4: 原画像

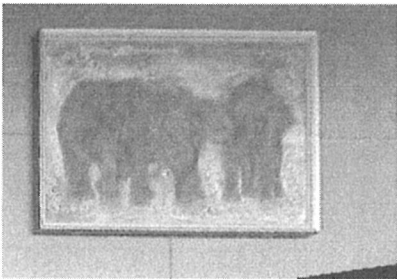


図 5: 正面画像

### 7.3 精度実験

本手法で導かれるのは、長方形のアスペクト比である。しかし、アスペクト比だけではなく、絵画の正面画像を生成するには、内部の尺度についても、正面画像変換後に実物と同様でなければならない。そこで、長方形内部に測定点として入力し、この長方形部分を内部の尺度が実物と同様であるかを検証した。そこで、色紙に4つの特徴点を取り、デジタルカメラで斜め方向から撮影した。この図6を正面画像に変換し、アスペクト比や長方形内部の特徴点内部の尺度と実際に定規で測定したものと、比較した。結果を表2に示す。

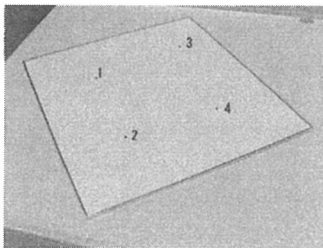


図 6: 色紙を斜め方向から撮影した画像

表 2: 精度実験結果

区間	実測値 (cm)	実験結果 (cm)
長方形横	24.2	24.2
長方形縦	27.2	27.224
1 - 2	11.1	11.09
1 - 3	12.0	12.0999
3 - 4	13.3	13.444
2 - 4	10.3	10.419

## 8 比較実験

本手法は画像情報のみで正面画像を生成する。そこで、同様に画像情報のみで行う消失点を用いる手法との比較を行う。本手法が消失点を用いた手法よりも安定な解が求まることを示すために、焦点距離を求めることができるか否かで比較する。目安として、画像内に写っている長方形の対辺間で生じる角度を示した。長方形は2つの対辺ができるので、一つの状況において2つの角度を示している。

表 3: 消失点を用いた手法との比較

角度	本手法	消失点
21度 : 2.5度	○	○
4.8度 : 8.6度	○	○
3.3度 : 4.3度	○	○
0.4度 : 3.07度	○	×
0.4度 : 1.45度	○	×
0.51度 : 0.13度	△	×

### 8.1 考察

シミュレーション実験を行った結果、入力する座標に誤差がなければ真値を得ることができた。また、ガウス雑音を加えると表??のようになった。結果から多少の誤差が生じてもほぼ真値に近い値を得ることができ、本手法の有効性を確認することができた。

実画像実験では、実際の絵画を用いて行った。絵画の額の4つの頂点を用いて、それぞれの座標を入力として正面画像を生成した。しかし、本手法では、画像1枚のみから正面画像変換を行うため、画像品質が情報量が少ない撮影した場所から遠い対象に行くほど落ちてしまう。したがって、画像品質をある程度保つためには、できるだけ正面から撮影することが必要となる。

次に、精度実験を行った。ここでは実画像を用いた実験と同様に、四角形の4頂点の座標を入力として正面画像に変換した画像の長方形のアスペクト比、長方形内部の尺度が実際の空間上での尺度とを比較し、本手法の精度を測定をした。結果は表1のようになった。誤差が生じているのは座標の取得の際に起きた誤差であるが、ほぼ真値と同じ

値を得ることができ、本手法の正確性を実証することができた。最後に比較実験を行った。結果を見る限り、本手法を用いることで、消失点を用いた場合よりも安定し、消失点を求めることができている。しかし、表3の1番下の場合、焦点距離は求まるが、少し誤差が大きな値を示していた。これは、長方形の対辺の角度が両方とも1度を切っているため、真正面近くから撮影されているので、本論文の第5章で述べた退化が原因であると考えられる。

## 9 むすび

本論文では、長方形を用いた絵画のアーカイブの手法について提案した。本手法は、絵画が長方形であることを利用して、斜め方向から撮影した画像から正面画像を生成する手法である。これにより、絵画のアーカイブの作成の時に、広い場所や高価な器具を利用せずに、正面画像を得ることができ、効率的に絵画のアーカイブを生成することができると思われる。今後の課題として、画像品質が落ちることへの対応等が考えられる。

## 謝辞

様々な御討論を頂きました立命館大学徐研究室の皆様  
に心より感謝いたします。また、本研究は一部、文部科学省21世紀COEプログラム「京都アート・エンタテインメント創成研究」の助成を受けた。

## 参考文献

- [1] Asanobu KITAMOTO, Sonoko SATO, Takeo YAMAMOTO, and Kinji ONO "Context Recombination for Digital Cultural Archives", Proceedings of the International Conference on Digital Archive Technologies (ICDAT2004), pp.105-119, May.2004.
- [2] 早乙女恵子, 高橋季穂, 菅田晋司, 佐藤誠"インタラクティブ性を持つニューアーカイブの研究", 芸術科学会論文誌, Vol.1 No.3 pp105-107
- [3] O.D.Faugeras, Three-Dimensional Computer Vision:A Geometric Viewpoint, MIT Press, Cambridge, MA, 1993.
- [4] Rubin Gong and Gang Xu, "3D Structure from a single calibrated view using distance constraints," Proc. ACCV 2004, pp.372-377 Jeju, Korea, Jan. 2004.
- [5] Y.Horry, K.kanjyo,K.Arai, "Tour into the picture:using a spidery mesh interace to make animation from a single image", ACM SIGGRAPH Proceedings, pp.225-232,1997.
- [6] Antonio Criminisi and Ian D.Reid and Andrew Zisserman , Single view metrology. Unternational Journal of Computer Vision, vol 40, number 2, pp.123-148, Sep 2000.
- [7] B. Triggs, "Autocalibration from planar scenes" , In Proc. 5th European Conference on Computer Vison, pages 89-105, Freiburg, Germany, June 1998.
- [8] Zhengyou Zhang, "Flexible Camera Calibration By Viewing a Plane From Unknown Orientations" , ICCV 1999: 666-673.
- [9] 徐剛, 辻 三郎, "3次元ビジョン", 共立出版, 1998