民生用デジタルスチルカメラによるデジタル写真測量システム “3DiVision” の構築

Design of Convenient Digital Photogrammetric System “3DiVision” using Digital Amateur Camera

近津 博文*・国井 洋一*・中田 隆司*・大嶽 達哉*

*Hirofumi CHIKATSU, Yoichi KUNII,
Ryuji NAKADA and Tatsuya ODAKE*

Abstract: Recently, the number of pixels of amateur digital cameras is amazingly increasing by modern semiconductor and digital technology. Nevertheless the highest pixel of amateur digital camera was 0.8 mega pixels in the 1996, 5.24 mega pixels was achieved in the 2001 and 3 mega pixels amateur digital cameras became the most popular camera on the market in Japan. In these circumstances, it is expected that the high resolution amateur digital cameras will become useful tool in various photogrammetric fields.

With this objective, the authors have been concentrating on developing a low-cost photogrammetric system using a digital amateur camera. This paper reports performance evaluation of 3 mega pixels amateur digital camera, a low-cost photogrammetric system, and the software “3DiVisoin” which was designed to perform convenient 3D measurements using amateur digital camera with key words: 3Dimension, Digital image and Visualization. Furthermore, 3D modeling of historical structure which was designated as important cultural assets using the 3DiVision was introduced.

1. はじめに

写真測量におけるアナログからデジタルへの変化はフィルムから CCD (Charge Coupled Device) センサへの変遷であり、フィルムの現像およびプリントという従来のフィルムカメラでは避けられなかった時間的損失が解消されリアルタイムな画像取得が可能となった。

CCD は1970年に考案された半導体中の電荷転送デバイスの一つであり、開発当初の解像度は10K 程度のものであったが¹⁾、最近ではセンサ技術の飛躍的な発展により、CCD センサの高解像度化が急速に進み、300万画素を超える多種・多様な高解像度 CCD センサを

搭載した民生用デジタルスチルカメラが多数登場するに至り、平成14年度の国内メーカにおけるデジタルカメラの出荷台数 (2,455万台) はフィルムカメラの出荷台数 (223万台) を超え²⁾、民生用高解像度デジタルスチルカメラによる簡便なデジタル写真測量が期待されている。

このような背景から、本研究では現在主流となっている300万画素デジタルスチルカメラのデジタル写真測量への応用の可能性を学術的に検証することを目的として民生用デジタルカメラの有効性を検証³⁾し、民生用デジタルカメラによる簡便なデジタル写真測量を目的としてレーザーレンジファインダを用いた計測対象空間に非接触な3次元計測手法を考案した^{4,5)}。本論文では、さらに実践的撮影状況に対応した計測アルゴリズムを考案し、これらを基に民生用デジタルカメラによる簡便なデジタル写真測量用ソフトウェア “3DiVision” の開発を行った。

*東京電機大学理工学部建設環境工学科
Department of Civil and Environmental Engineering,
Tokyo Denki University
〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂
Hatoyama, Saitama, 350-0394
「写真測量とリモートセンシング」VOL. 42, NO. 3, 2003

2. 民生用デジタルスチルカメラ

2.1 CCD 解像度の変遷⁶⁾

世界で初めて CCD センサを搭載した民生用スチルカメラは1988年に発表された MVC-C1 (ソニー、総画素数は28万画素)であったが、当時の CCD 搭載型カメラはアナログ形式で出力される「電子スチルビデオカメラ」であった。「デジタルスチルカメラ」としては1989年に発売された DS-X (フジックス：40万画素)が世界初の民生用デジタルスチルカメラとなり、その後各社から次々とデジタルスチルカメラが発表され、1990年代後半に入るとパーソナルコンピュータの普及やハードウェア・デバイスの高性能化によりデジタルスチルカメラの高解像度化が飛躍的に進み、2000年10月には CAMEDIA E-10 (オリンパス)により400万画素が達成され、さらに2001年6月には DiMAGE7 (ミノルタ)により民生用としては現時点で世界最高の524万画素デジタルスチルカメラが登場するに至った。図1に民生用デジタルスチルカメラにおける画素数の年代別推移を示す。

2.2 300万画素以上の民生用デジタルスチルカメラ

平成15年3月5日時点において日本国内で発売され

ている民生用デジタルスチルカメラは100機種以上にも上り、300万画素を超える多種・多様な高解像度 CCD センサを搭載したものは69機種にもおよび、現在の市場における主流となっている。そのうち400万画素以上の CCD センサを搭載したものは20機種、同じく500万画素以上のものは既に12機種発売されている。なお、最近の顕著な傾向としては DiMAGE-Xi (ミノルタ、3.3Mega, 130g), DSC-F77 (ソニー、4.1Mega, 150g) に見られるように小型軽量化であり、小型軽量化・高解像度化の傾向は今後も続くものと予想される。表1に現在発売されている300万画素以上の民生用デジタルスチルカメラの主な諸元を示す。なお、以下のカメラのうちの幾つかは現在では生産ラインから消えているが、エプソン CP-900Z (ハイピクト方式)、富士フィルム FinePix4700Z (ハニカム信号処理方式)、ビクターGC-X1 (ピクセルシフト方式)、リコーRDC-7 (エンハンスメント方式)等は各社独自の画像補完技術により本来の画素数よりも高解像度な画質表現を可能にしたものであり⁶⁾、写真測量学見地からは興味のもたれるカメラである。したがって、次章における民生用デジタルカメラの性能評価にはこれらのカメラも含めることとした。

図1 民生用デジタルスチルカメラにおける CCD 解像度の変遷

表1 民生用300万画素デジタルスチルカメラの主な諸元

	Producer	Product Name	Resolution (Mega Pixel)	CCD Sensor		Producer	Product Name	Resolution (Mega Pixel)	CCD Sensor
1	Canon	Power Shot G3	4.10	1/1.8inch	36	Nicon	COOLPIX885	3.37	1/1.8inch
2	Canon	Power Shot S45	4.10	1/1.8inch	37	Nicon	COOLPIX3500	3.34	1/2.7inch
3	Canon	Power Shot Pro90IS	3.34	1/1.8inch	38	OLYMPUS	E-20	5.24	2/3inch
4	Canon	IXY DIGITAL 320	3.30	1/2.7inch	39	OLYMPUS	C-5050 ZOOM	5.00	1/1.8inch
5	Canon	Power Shot A70	3.30	1/2.7inch	40	OLYMPUS	X-2	5.00	1/1.76inch
6	Canon	Power Shot S30	3.30	1/1.8inch	41	OLYMPUS	X-1	4.30	1/1.76inch
7	CASIO	QV-4000	4.13	1/1.8inch	42	OLYMPUS	C-4100 ZOOM	4.13	1/1.8inch
8	CASIO	QV-R4	4.13	1/1.8inch	43	OLYMPUS	C-730 Ultra Zoom	3.34	1/2.7inch
9	CASIO	QV-3500EX	3.34	1/1.8inch	44	OLYMPUS	C-720 Ultra Zoom	3.34	1/2.5inch
10	CASIO	QV-3000EX	3.34	1/1.8inch	45	OLYMPUS	C-300 ZOOM	3.34	1/2.5inch
11	FUJI FILM	FinePix A303	3.24	1/2.7inch	46	Panasonic	DMC-LC40	4.01	1/1.76inch
12	FUJI FILM	FinePix S304	3.24	1/2.7inch	47	Panasonic	DMC-LC5	4.01	1/1.76inch
13	FUJI FILM	FinePix F601	3.10	1/1.7inch	48	Panasonic	DMC-F1	3.34	1/2.5inch
14	FUJI FILM	FinePix M603	3.10	1/1.7inch	49	PENTAX	Optio430RS	4.13	1/1.8inch
15	FUJI FILM	FinePix S602	3.10	1/1.7inch	50	PENTAX	Optio330RS	3.34	1/1.8inch
16	Kodak	DX3900 Zoom	3.30	1/1.75inch	51	PENTAX	Optio330GS	3.34	1/2.7inch
17	Konica	KD-500Z	5.36	1/1.8inch	52	RICOH	Caplio G3	3.34	1/2.7inch
18	Konica	KD-400Z	4.13	1/1.8inch	53	RICOH	Caplio G3 model M	3.34	1/2.7inch
19	Konica	KD-310Z	3.34	1/1.8inch	54	RICOH	Caplio G3 model S	3.34	1/2.7inch
20	Konica	KD-300Z	3.34	1/1.8inch	55	RICOH	Caplio 300G	3.34	1/2.7inch
21	KYOCERA	Finecam S5	5.25	1/1.8inch	56	RICOH	Caplio RR30	3.34	1/2.7inch
22	KYOCERA	Finecam S4	4.13	1/1.8inch	57	RICOH	RDC-i700	3.34	1/1.8inch
23	KYOCERA	Finecam S3L	3.34	1/1.8inch	58	SANYO	DSC-AZ3	4.13	1/1.8inch
24	KYOCERA	Finecam S3x	3.34	1/1.8inch	59	SANYO	DSC-AZ1	4.13	1/1.8inch
25	KYOCERA	Finecam S3	3.34	1/1.8inch	60	SONY	DSC-F717	5.20	2/3inch
26	MINOLTA	DiMAGE 7Hi	5.24	2/3inch	61	SONY	MVC-CD400	4.13	1/1.8inch
27	MINOLTA	DiMAGE 7i	5.24	2/3inch	62	SONY	DSC-F77	4.10	1/1.8inch
28	MINOLTA	DiMAGE 7	5.24	2/3inch	63	SONY	DSC-FX77	4.10	1/1.8inch
29	MINOLTA	DiMAGE F300	5.30	1/1.8inch	64	TOSHIBA	Allegretto M81	4.20	1/1.8inch
30	MINOLTA	DiMAGE F100	4.13	1/1.8inch	65	TOSHIBA	Allegretto M70	3.37	1/1.8inch
31	MINOLTA	DiMAGE Xi	3.30	1/2.7inch	66	TOSHIBA	Allegretto 3310	3.34	1/1.8inch
32	Nicon	COOLPIX5700	5.24	2/3inch	67	TOSHIBA	sora T30	3.34	1/2.7inch
33	Nicon	COOLPIX5000	5.24	2/3inch	68	Victor	GC-X3	3.34	1/1.8inch
34	Nicon	COOLPIX4500	4.13	1/1.8inch	69	Victor	GC-X1	3.34	1/1.8inch
35	Nicon	COOLPIX4300	4.13	1/1.8inch					

2003.3.5 現在
出展：各社 HP

3. 民生用デジタルカメラの性能評価

3.1 実験概要

本研究では300万画素デジタルスチルカメラのデジタル写真測量への応用を検討するために、図2に示すように先に述べた画像補完技術を搭載した4機種およびプロ用機種を含む12機種(31万画素から610万画素のデジタルスチルカメラ)のデジタルスチルカメラに対して、撮影モードごとに図3に示すテストターゲットのステレオ撮影を固定焦点で5回ずつ行った後、テストターゲット上の黒丸42点のうち均等に選んだ9点を

基準点、その他の33点を検証点とし、検証点に対する3次元座標の算出によりを行い、得られた精度の平均値を用いて精度検証を行った。

一方、得られる精度は基準点および検証点の読み取り精度および基線比に依存し、ターゲットの大きさの影響を無視するためには画面上の円形ターゲットの直径を15画素以上とする必要がある⁷⁾。そこで、本研究ではそれぞれのカメラに対して円形ターゲットの直径が十分な大きさ(平均50画素程度)を確保し基線比がほぼ一定(0.34)となるように撮影を行った。また、黒丸42点の読み取りに当たっては、撮影した画像から2値化処理によって黒丸のみを抜き出し、中心の画像座

図2 使用カメラ

図3 テストターゲット1

表2 使用カメラの主な諸元

	Producer	Product Name	Number of Pixel ($\times 10^6$)	CCD Sensor	Image Interpolation Technology (Number of Pixel by Intrpolation)
Amateur	(a) Canon	IXY DIGITAL	2.11	1/2.7inch	
	(b) EPSON	CP-900Z*	3.34	1/1.8inch	Hypict Technology (4.84M Pixel)
	(c) FUJI FILM	FinePix 700	1.50	1/2inch	
	(d) FUJI FILM	FinePix 4700Z	2.40	1/1.7inch	Honeycom Technology (4.32M Pixel)
	(e) Konica	Q-M100V	1.00	1/3inch	
	(f) OLYMPUS	C-2000ZOOM	2.11	1/2inch	
	(g) OLYMPUS	C-3030ZOOM*	3.34	1/1.8inch	
	(h) RICOH	DC-3	0.31	1/4inch	
	(i) RICOH	RDC-7*	3.34	1/1.8inch	Image Enhancement Technology (7.07M Pixel)
Professional	(j) Victor	GC-X1*	3.34	1/1.8inch	Pixel Sift (6.00M Pixel)
	(k) FUJI FILM	FinePix S1 Pro	6.13	1.1inch	
	(l) Kodak	DCS560	6.10	1.3inch	

*: 300万画素以上の CCD センサを搭載した民生用デジタルスチルカメラ

標を面積重心によって自動的に求める手法を採用した。

なお、ここでのキャリブレーションはバンドル調整法により行った。表2に本実験で使用したデジタルスチルカメラの主な諸元を示す。

3.2 レンズ歪

非測定カメラである民生用デジタルカメラの性能評価を行うために、本研究では表3に示すディストーションモデルによりレンズ歪に関する検討を行った。モデル0はレンズ歪の補正を考慮しない場合であり、モデル1、2は放射方向の歪補正だけを考慮したモデルであり、モデル3⁸⁾は放射方向および接線方向歪の両方を考慮したものである。各カメラに対するレンズ

歪の補正結果を図4に示す。また、図5はCP-900Zに対する結果である。

図4より、レンズ歪は3次の多項式モデル（モデル1）により補正されるのに対して、モデル2、3ではモデル1と比較して大きな改善は見られず、非測定カメラに対するレンズ歪の補正は従来どおりに3次の多項式モデルで十分であることが確認される。なお、プロ用カメラではレンズ歪の補正を行わなくても、300万画素民生用デジタルカメラをモデル1によりレンズ歪を補正した場合と同程度の結果が得られていることが確認される。

また、図5より放射方向歪は画像中央部において小さく、周辺では大きいという従来どおりの結果も確認された⁹⁾。

表3 レンズディストーションモデル

モデル No.	補正項目	式
0	補正なし	
1	放射方向わい曲歪	$dx = k_1 r^2 x$ $dy = k_1 r^2 y$
2	放射方向わい曲歪	$dx = k_1 r^2 x + k_2 r^4 x$ $dy = k_1 r^2 y + k_2 r^4 y$
3	放射および接線方向わい曲歪 ⁷⁾	$dx = k_1 r^2 x + k_2(r^2 + 2x^2) + k_3 2xy$ $dy = k_1 r^2 y + k_3(r^2 + 2y^2) + k_2 2xy$

dx, dy : 補正量, $k_1 \sim k_3$: 歪係数, x, y : 画像座標, $r^2 = x^2 + y^2$

図4 レンズ歪の補正

(a) 原画像

(b) 補正なし

(c) モデル1による補正後

図5 レンズ歪

3.3 画素数と精度

図6はモデル1を用いて補正された検証点の平均2乗誤差と画素数との関係を示したものである。この図より、画素数の増加に伴い平面および奥行き精度とも向上するものの、平面座標に関しては200万画素以上および奥行き精度では300万画素以上では大きな変化が見られないことが確認できる。

3.4 画質評価

一方、図7はDC-3（リコー、31万画素）、CP-900 Z（エプソン、334万画素）、DCS560（コダック、610万画素）で撮影されたターゲットを10倍拡大したものである。この図より30万画素と300万画素との間には明らかな画質の違いが認められるが、300万画素と600万画素との間には顕著な差が認められないことが確認される。

よって、以上を総合的に判断すると、民生用に販売されている300万画素デジタルスチルカメラはデジタル写真測量の発展に十分に寄与しうるものと思われる。

4. デジタル写真測量システム

4.1 撮影システム

カメラキャリブレーションのための地上基準点測量には多大な労力、時間が必要とされるため、写真測量の簡便化における最大の課題は地上基準点測量の簡略化である。地上基準点測量を不要とするものとして、ジャイロやGPSの利用が考えられる。しかし、これらの機器は非常に高価なものであるため、本研究の目的のためにはこれらの機器に依存しない簡便なデジタル写真測量システムの構築が必要となる。

そこで、本研究では民生用デジタルカメラ、レーザー距離計、水準調整器を統合した撮影システムを考案した。図8に本装置の外観を示す。本システムは、民生用デジタルカメラとレーザー距離計の光軸とをほぼ一致させて台座に設置させるため、カメラから対象物までの正確な撮影高度を計測することが可能となる。さらにトータルステーション等と同様の水準調整器を用いてシステムの水平設置を可能とした結果、カメラの姿勢角(ω, κ)をほぼ 0° と見積もることができるためカメラキャリブレーションの効率化が実現される。

なお、本計測システムでは撮影部のデジタルカメラ

図6 画素数と精度

図7 画素数と画質

図8 撮影システムの外観

に民生用300万画素デジタルカメラ(エプソン, CP-900 Z (334万画素))を使用し, 距離測定部のレーザー距離計にはライカ Dist Pro (測定精度: $\pm 1.5\text{mm}$)を使用した。また, 本計測システムではあらかじめ求めておいた内部標定要素を用いて, 共面条件とバンドル調整法を利用して外部標定要素を算出するものであるが概要については次項で説明する。

4.2 3DiVision

本論文では上述した手法に対して, さらに実践的撮影状況に対応した計測アルゴリズムを考案し, これらを基に民生用デジタルカメラによる簡便なデジタル写真測量用ソフトウェア 3DiVision の開発を行った。3DiVision は3通りの撮影状況に対応し, カメラキャリブレーションのための地上基準点測量を必要とせず

図9 3D計測手法

に3次元計測を行うことが可能である。

図9は本計測手法の簡単な流れであり、各撮影手法の概略は以下に示す通りである。

CASE 1（撮影高度を使用する）

CASE 1の計測手法は整準台にセットされたカメラおよびレーザレンジファインダを用いて図10.1のように平行撮影を行うものであり、この場合には撮影高度(H_1 , H_2)を取得する必要がある。

CASE 2（縮尺距離を使用する）

CASE 2の計測手法は撮影高度の代わりに測定対象面内に図10.2のように縮尺距離(D)を取得する必要がある。測定対象物の撮影方法はCASE 1と同様である。

CASE 3（縮尺距離を使用する）

CASE 3の計測手法はCASE 2と同様に測定対象面内に縮尺距離(D)を取得する必要があるが、本手法は前述の2つの手法とは異なり、カメラを三脚などに固定する必要はなく、図10.3のように自由な方向から測定対象物を撮影することを可能としたものである。

本手法の特徴は画面上において原点およびX軸方向を定める点を指定することにより座標系を固定し、さらに画面上に均等に4点を選ぶ。相互標定の後、撮影高度(CASE 1)あるいは縮尺距離(CASE 2, 3)を用いてこれらの点の近似値を求め、撮影高度あるいは縮尺距離を拘束条件として左右画像を同時に標定し、得られた外部標定要素を用いて未知点の3次元計測を行うものである。すなわち、原点の座標を(0, 0, 0)とすると、CASE 1の場合の未知数は以下の26個となる。左右画像の外部標定要素12個、X軸上の点に対しては $Y=0$ となるため、その点に対する(X, Z)座標および均等に選ばれた4点に対する3次元座標12個の合計26個である。この未知量に対して、左右画像の6点より導かれる24個の共線条件式と左右カメラの撮影高度に対する拘束条件2個および姿勢角に対する拘束条件4個の合計30個の条件式を同時に解くことになる。同様に、CASE 2の場合には測定される縮尺距離の左端点を原点、右端点をX軸上の点とすることにより、右端の点のX座標は縮尺距離となり、CASE 1よりも未知量を1個減らすことができ、さらに平行撮影を行っているため縮尺距離と焦点距離とより左右カメラに対する撮影高度に対して質の高い近似値が得られるため、これを拘束条件とすることによりCASE 1と同様に30個の条件式が得られることになる。

なお、X軸上に選ぶ点を原点とほぼ同一平面に選ぶ場合には、さらにこの点のZ座標に対する拘束条件が増えるため精度の向上が実現される。また、CASE 3の場合には、前述の2つの方法に対して撮影高度、姿勢角などに対する拘束が少ない分、キャリブレーションを行う際には縮尺距離Dの測定の他にX軸およびY軸方向に各1点ずつ標高基準点を設定し、幾何的拘束を与える必要がある。すなわち、縮尺距離の右端を

図10.1 撮影方法(CASE 1)

図10.2 撮影方法(CASE 2)

図10.3 撮影方法(CASE 3)

X 軸とすると X 軸上に選ばれた点は既知量となるため、Y 軸方向に選ばれた点に対する平面座標および残り 3 点に対する 3 次元座標の合計 23 個の未知量に対して共線条件式 24 個が対応することになる。

4.3 精度検証

3DiVision の有効性を検証するために、図 11 に示す縦 1.80m、横 1.55m、奥行き (中央 2 列) 0.33m のテストターゲットに対して各撮影方法でステレオ撮影を行い、各計測手法によりターゲット上に配置された黒丸の 3 次元座標を算出し、精度検証を行った。表 4 に撮影状況を示す。

黒丸の 3 次元座標に関しては、黒丸の中心に貼り付けた反射ターゲットの中央をトータルステーション (MET2NV (Sokkia)、距離精度 ± 1 mm、角度精度 ± 2 ") で計測し、得られた 3 次元座標を真値として使用した。また、テストターゲットの画像座標は撮影した

図 11 テストターゲット 2

表 4 撮影状況

	Case 1, 2		Case 3	
	左カメラ	右カメラ	左カメラ	右カメラ
撮影高度	3.547m	3.542m	3.479m	3.465m
基線長	1.190m		1.488m	
基線比	0.336		0.429	

画像から 2 値化処理によって黒丸のみを抜き出し、中心の画像座標を面積重心によって求めた。表 5 に本手法での精度および基準点 9 点によるセルフキャリブレーションを用いて得られた結果を示す。

表中の CASE 1, 2 における Z : Not Given, Z : Given とは X 軸方向を定めた点の Z 座標を未知量とした場合および既知量とした場合である。また、CASE 3 に対する Free 1, 2, 3 はカメラの姿勢角を変えて撮影した結果であり、キャリブレーション結果より算出された Free 1, 2, 3 に対する姿勢角を表 6 に示す。表 5 より、CASE 2 は CASE 1 よりも未知量が 1 個少ない分だけ CASE 1 よりも精度が良く、CASE 3 は CASE 1, 2 よりも基線比が大きいが、幾何拘束が強いため基線比の影響を除いても CASE 1, 2 より高い精度が得られることが確認された。なお、姿勢角と精度との関係は Free 1, 2, 3 のみの結果からでは明らかではないが ω, φ, κ とともに 10° 前後に収まるような撮影条件が良いのではないかと推測される。

一方、当初開発された CASE 1 は CASE 2, 3 に対して精度は低いものの、対象空間に対して非接触な測定を可能とし、さらに X 軸上の点を原点とほぼ同一平

表 5 撮影方法に対する精度

		3DiVision		セルフキャリブレーション	
		σ_{xy} (mm)	σ_z (mm)	σ_{xy} (mm)	σ_z (mm)
CASE 1	Z: Not given	1.634	4.210	0.427	1.012
	Z: Given	1.783	2.812		
CASE 2	Z: Not given	0.644	2.309	0.427	1.012
	Z: Given	0.923	2.480		
CASE 3	Free 1	0.656	1.120	0.400	0.580
	Free 2	0.951	1.447	0.422	0.562
	Free 3	0.803	1.661	0.407	0.464

表6 Case 3 における姿勢角

		Free 1			Free 2			Free 3		
左カメラ	ω	6°	58′	13.5″	−6°	29′	11.4″	13°	13′	19.2″
	φ	12	5	51.6	12	29	48.1	22	8	12.3
	κ	7	31	7.6	17	7	55.6	2	14	6.0
右カメラ	ω	8°	46′	37.9″	−5°	53′	27.5″	11°	44′	33.4″
	φ	−10	33	58.3	−10	7	38.3	−14	47	55.6
	κ	−6	11	35.4	−11	46	36.8	−5	58	8.0

表7 内部標定要素

x_0	1021.7967	a_1	289.8013
y_0	800.7820	a_2	0.1842
f	7.2480	a_3	0
k_1	3.4697E-08	a_4	289.8551

x_0, y_0 : 主点位置 k_1 : ディストーション係数

f : 焦点距離 $a_1 \sim a_4$: 変換係数

面に選択できる場合には CASE 2 とほぼ同等な結果が得られることが確認された。3DiVision より得られる精度は基準点 9 点を使用した結果と比較して若干劣るものの、測定対象空間に対して地上基準点測量を必要としないことを考慮すれば、本手法は民生用デジタルカメラを用いた簡便かつ効率的なデジタル写真測量として有効な計測手法であると期待される。

なお、本研究で考案した計測手法では、内部標定要素を予め求めておく必要があるため、本研究では予めバンドル調整法によりカメラキャリブレーションを行った。表 7 に使用した内部標定要素を示す。

なお、表 7 における a_1, a_2, a_3, a_4 は画面座標を (u, v) 、画面中心を (u_0, v_0) 、センサ座標 (x, y) とした場合の次式に示す変換係数である。

$$u = u_0 + a_1 \times x + a_2 \times y$$

$$v = v_0 + a_3 \times x + a_4 \times y$$

また、図12は 3DiVision の構成を示したものであるが、3DiVision およびマニュアル等は <http://www.chikatsu-lab.g.dendai.ac.jp/3division/japanese/index.html> にて公開中であり、ダウンロードできる環境下にある。

5. 応用事例

3DiVision における 3 次元表現機能はまだ開発中であるが、3DiVision の応用例として新潟県北魚沼郡守

3DiVision

図12 3DiVision の構成

門村にある国指定重要文化財“目黒邸”の3次元計測を行った。目黒邸は寛政9年に11代目黒五郎助が建てた割元庄屋の役宅を兼ねた豪農住宅であり、昭和49年に主屋・中蔵・新蔵、昭和53年には宅地、平成5年には椽亭などが国の重要文化財の指定を受けた¹⁰⁾。

計測には民生用デジタルカメラ（エプソン、CP-900 Z（334万画素））を用いて CASE 3 の撮影条件により各建造物のステレオ撮影を行い、得られた 3 次元座標を用いて手動にてワイヤーフレームモデルの作成を行った後、市販の 3 DCG ソフトを用いてアニメーションを作成した。図13にアニメーション画像の一部を示す。なお、目黒邸のアニメーションについては <http://www.chikatsu-lab.g.dendai.ac.jp/movies/index.html> にて公開中である。

6. 結 論

本研究では民生用デジタルスチルカメラのデジタル写真測量への応用の可能性を学術的に検証することを目的としてレンズ歪、画素数と精度との関係、画素数と画質の関係を検証した結果、現在主流となっている民生用300万画素デジタルスチルカメラはデジタル写

図13 アニメーションシーン

真測量の発展に十分に寄与しうることを示した。また、民生用デジタルカメラによる簡便なデジタル写真測量を目的としてレーザーレンジファインダを用いた計測対象空間に非接触な3次元計測手法、さらには実践的撮影状況に対応した計測アルゴリズムを考案し、これらを基に民生用デジタルカメラによる簡便なデジタル写真測量用ソフトウェア 3DiVision の開発を行い、3DiVision の精度検証を行うと同時に、文化財の保存等において注目されているデジタル・アーカイブへの応用事例を示した。

(受付日2003.3.6, 受理日2003.5.8)

参考文献

- 1) Seitz P., Vietze O. and Spirig T.: From pixels to answer-Recent developments and trends in electronic imaging, International archives of photogrammetry and remote sensing, Vol.30, Part 5W1, pp.2-12, 1995.
- 2) カメラ映像機器工業会 HP より.
- 3) 近津博文, 国井洋一, 中田隆司; デジタル写真測量からみた300万画素デジタルスチルカメラの精度検証, 写真測量とリモートセンシング, 40巻2号, pp.33-38.
- 4) 中田隆司, 近津博文; デジタルカメラと距離計とを用いた3次元計測システムに関する研究, 日本写真測量学会平成13年度秋季学術講演会論文集, pp.225-228, 2001.
- 5) Hirofumi CHIKATSU, Yoichi KUNII: Performance Evaluation of Recent High Resolution Amateur Cameras and Application to Modeling of Historical Structure, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIV, Part 5, pp.337-341, Corfu, 2002.
- 6) 国井洋一, 近津博文, 村井俊治; 民生用デジタルスチルカメラにおける解像度の変遷, 写真測量とリモートセンシング, 40巻6号, pp.55-59.
- 7) Hartmut Schafer: A Study on an automatic vision system for tracking and three dimensional measurements of objects in motion, 東京大学学位論文, 1989.
- 8) Fryer J.G. and Brown D.C.: Lens Distortion for Close-Range Photogrammetry, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 52, No. 1, pp.51-58, 1986.
- 9) 解析写真測量委員会編, 解析写真測量, 日本写真測量学会発行, 1983.
- 10) 目黒邸パンフレットより.