

## デジタルカメラによる実況見分調書等に 係る作図技術の研究開発

### 1 研究開発の目的

デジタルカメラで交通事故現場を撮影した画像から、現場見取り図の作成および所要の位置関係等の計測を行う技術を開発する目的で、平成18年度から実施している研究開発課題に関連して、平成20年度には計測用のカメラの較正（キャリブレーション）方法を確立し、また、そのカメラを用いて行う計測の精度に関して、検討を行った。また、昨年度までに作成したアプリケーションプログラムを実用に供するためのプログラムを作成した。

すなわち、平成20年度の研究開発課題として、次の項目に取り組んだ。

- ① カメラ定数の測定方法の確立
- ② 計測精度の検討

### 2 カメラ定数

本計測に用いるカメラの要件として、画面が高精細であること、広角レンズであること（35mmフィルムカメラ換算で28mmレンズ）、画角と焦点距離が固定できるものであることが必要である。

この特性をもつカメラを計測用に用いるための「カメラ定数」を測定することが必要であり、その基本的方法については昨年度に報告したが、今年度はその精緻化を行い、また、カメラ定数の測定方法を確立した。

デジタルカメラを、計測目的に用いるための三要素は、

- ① 画面距離（いわゆる焦点距離）
- ② レンズの歪みを表すパラメータ
- ③ 光学的画面中心位置

であるが、このうちレンズの歪みを表すパラメータを、従来は二つで考えていたがこれを三つすなわち  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  とすることとした。これにより、レンズ歪みがより正確に表現されるためである。

それに伴い、昨年の報告は次のように修正する。すなわち、写真像位置の補正の式は、次のようになる。

$$r = (1 + C) \times R_s$$

$$\text{ただし } C = t \times (1 + t^2) \times (C_1 + C_2 \times t + C_3 \times t^2)$$

$$t = R_s/f$$

$$R_s = \text{Sqr}((Y_p - Y_0)^2 + (Z_p - Z_0)^2)$$

ここで、 $f$ ：画面距離、 $(Y_0, Z_0)$ ：光学的画面中心位置

$(Y_p, Z_p)$ ：写真像の、写真座標系による座標値（測定値）

### 3 カメラ定数算定のための指標点

#### (1) 大型化した平面指標

昨年度の報告では、指標点としては、平面性がよく保たれていて、指標の相対位置が既知であるという条件を満たすものとして、有孔合板木板（いわゆる穴あきボード）の穴を利用した。この場合、指標点の数は100個であるが、今年度は、壁面を利用して指標点を配置し、169個（13×13）の点とした。指標点は、パソコンで作成し、A3版の用紙に印刷したもの壁面に張り付けたものである。（写真1、写真2）。



写真1 壁面に配置した指標点

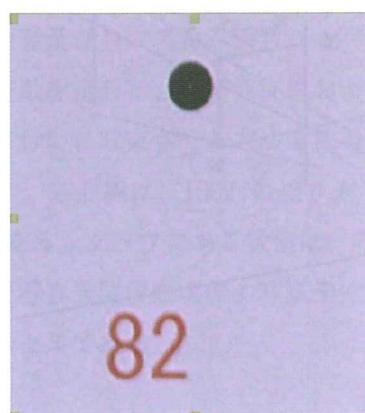
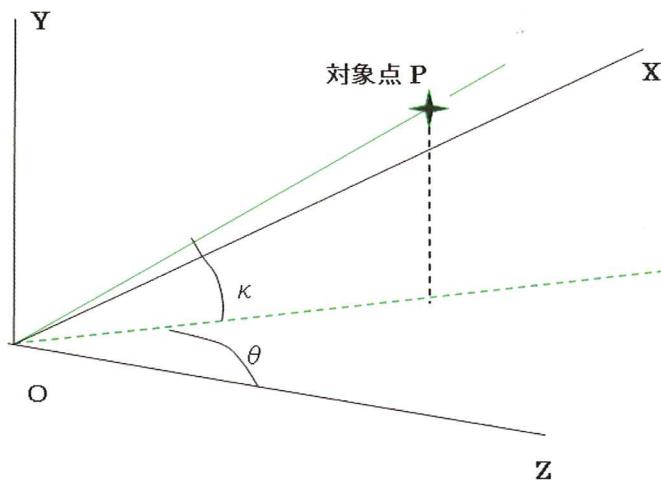


写真2 指標点

指標点の座標値の計測は、次のように行った。

- ・ 計測器はセオドライト（角度測定を行う測量器）のみを用いる。
- ・ セオドライトを異なる二か所に据え、それぞれの個所から各指標点の極座標値のうち、角度成分（ $\theta$ 、 $\kappa$ ）のみの測定を行う（図1）。

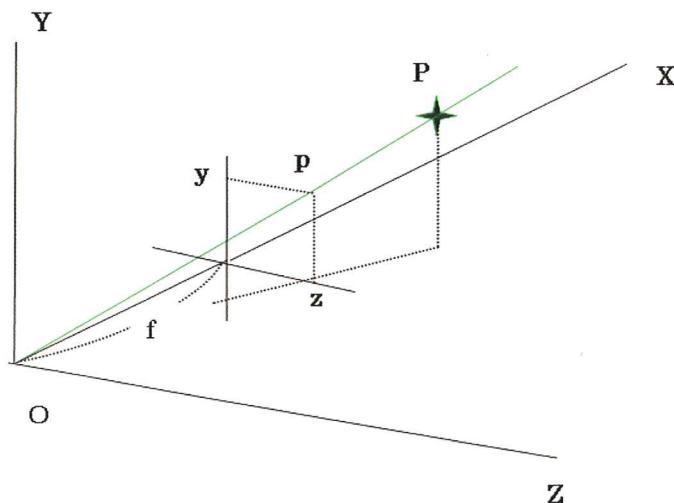
図1 セオドライトによる指標点の極座標角度測定



このとき、セオドライトを水平に設置・観準する等の特段の制約はない。

セオドライト座標系のX軸に垂直な平面を想定し、その平面を原点から $f$ の距離に仮想的に設置する（図2）。これは、セオドライトを仮想的なカメラと見做すことであり、仮想平面はその画像位置に相当する。これにより、対象点の、仮想写真像の位置が表現できる。すなわち、セオドライト座標系における各指標点の角度（ $\theta$ 、 $\kappa$ ）から、次式で $p$ の（仮想）写真座標値が定まる。

図2 セオドライトを仮想カメラと見做した時の仮想写真像位置 $p$ （ $y$ 、 $z$ ）



$$x = f$$

$$y = f / \cos(\pi/2 - \theta) \times \tan(\kappa)$$

$$z = f \times \tan(\pi/2 - \theta)$$

このような数値処理をすることで、本研究の2台のカメラによる三次元計測のアルゴリズム（昨年度報告）を適用して、セオドライトによる三次元計測が可能になる。

三次元座標計測のためには、座標系を定める必要がある。写真測量の理論における「モデル座標系」すなわち「左右カメラをステレオカメラと見做した場合のステレオモデル座標系」における指標点の三次元座標値が求められるが、それを計測対象の座標系に変換する。これは直交座標系の変換であり、原点の移動と移動後の三軸のまわりの回転変換を行う。そのための原点、Z軸が通る点及びYZ平面を定義する。原点は、指標点の一つを原点に定める（No.84の点）。また、Z軸が通る点はNo.88の点と定義する。YZ平面は、原点を通り、すべての指標点のX座標値の二乗和が最小となるように定める。この計測方法で計測された座標値の長さの単位は、写真計測における基線の長さであり、基線の長さは計測対象内の既知の長さを使って求める。既知の長さとして、指標点を印刷したA3版の用紙の中の6個ずつの指標点の間隔が既知（17cm）であるため、それを用いる。

## (2) 指標点撮影によるカメラ定数の算定

指標点を撮影した画像からカメラ定数を求める方法は、基本的に昨年度の報告と同じである。しかし、今年度の方法では、次の点が変更されている。

まず、カメラ定数の数を5から6に増やしたこと、アルゴリズムは変更されている。また、複数の個所から、カメラを横及び縦に構えて撮影した複数枚の写真のデータを用いて、安定した結果を得ることができた点が昨年度研究からの改良点である。安定化していることの検証は、次に述べる立体視標を用いたカメラ定数算定との比較で行う。

## (3) 立体指標の導入

昨年の報告では、穴あきボードに丸棒を突き刺した立体視標を用いたが、立体点をさらに増やした指標を作成した。写真1に示した平面指標を利用し、写真3に示すような立体指標を配置した。

指標点の座標値は上記(1)で述べた方法により計測した。

この指標を正面、左方および右方から、カメラの構えをそれぞれ横型と縦型として、合計6枚の写真を撮り、それをデータとしてカメラ定数の算定を行った。

このアルゴリズムでは、画面距離及びレンズ歪み係数（4パラメータ）ならびに光学的中心（2パラメータ）を算定する「内部定数標定」と、カメラ位置およびカメラ姿勢（6パラメータ）を算定する「外部定数標定」を交互に行い、収束させる方法を採用した。

図3は、その収束の様子を示す。各曲線は、100回の繰り返しごとの途中結果を示している。この図では、947回の繰り返し数である。グラフにある数値は、収束結果である。

収束の完了は、各指標点の推計写真像位置が実際の写真像位置とのずれが最小になる時としたが、その時の平均誤差量は、1.16ピクセルである。

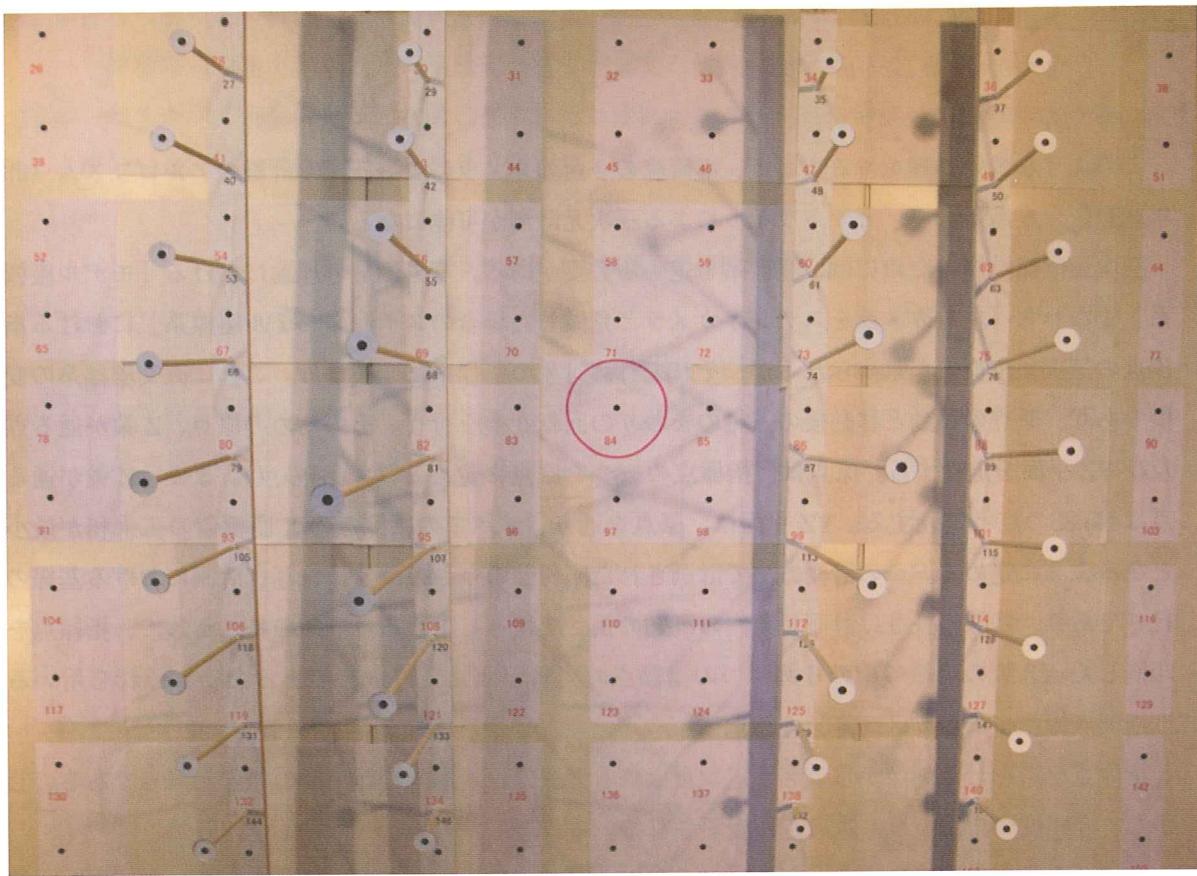
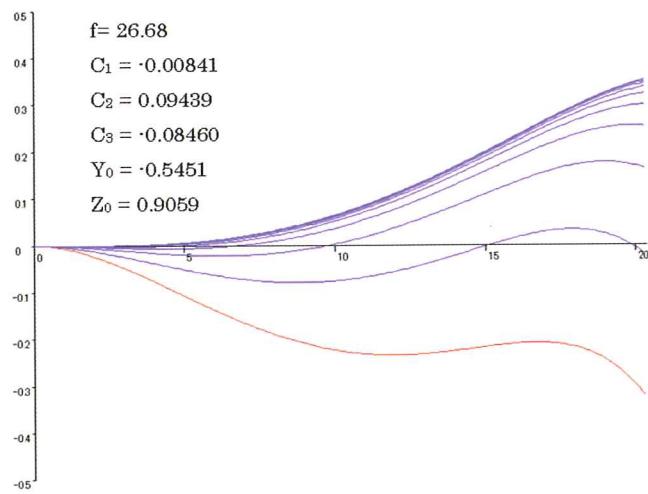


写真 3 立体視標

図3 レンズ歪み曲線への収束状況（立体指標・縦横写真各3枚）



立体指標を撮影した6枚の写真に基づく標定結果を、カメラ定数の基準値と考え、平面指標を様々な方向とカメラ姿勢で撮影した写真を用いた標定結果と比較して、適切な撮影方法を検討した結果、平面指標の場合も正面、左右から縦横それぞれの写真を撮影することで良好な結果が得られることが分かった。

図4は、平面指標による標定結果である。繰り返し回数は2,685回、平均誤差量は0.99ピクセルである。

図4 平面指標による標定結果（横型写真：正面、左方、右方；縦型写真左方、右方）

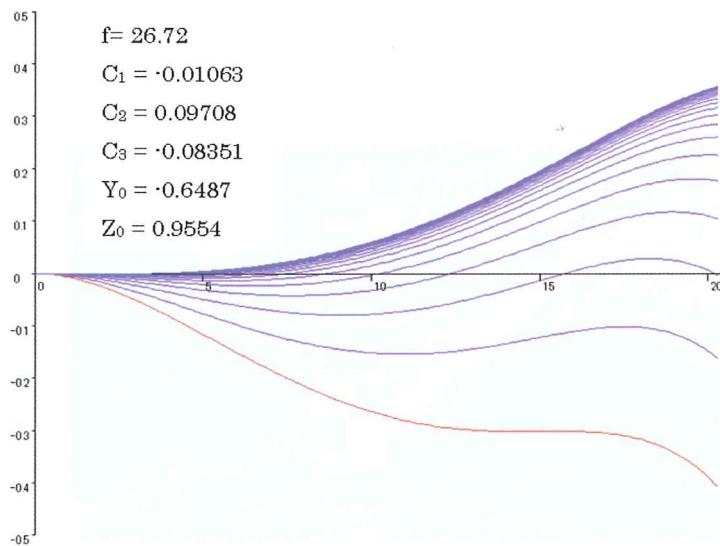


図3と図4にあるパラメータの値は、推計値なので、同じではないことはやむを得ないといえる。いずれが「真値」であるかを検証するには、精度検定にまつはかはない。図5は、図4の結果が図3の結果とレンズ歪み曲線においてどれほど差があるかを示すものである。

図5 平面指標による標定と立体指標による標定の比較

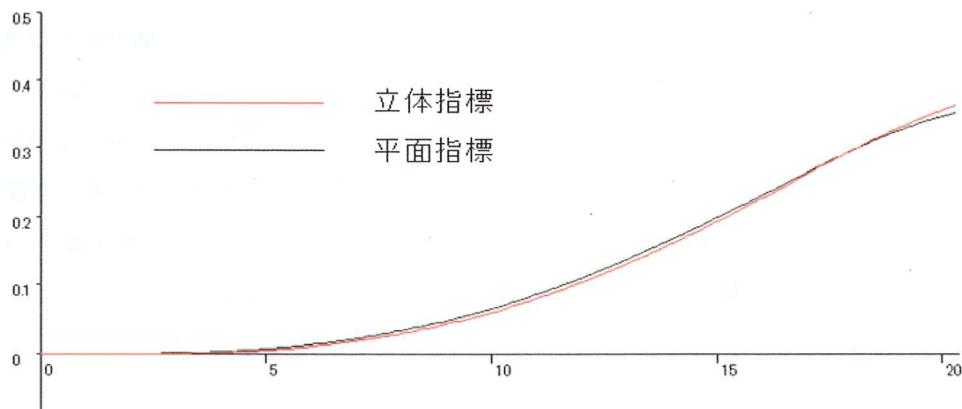




写真6 長さ指標（横方向、奥行き方向）



写真7  
長さ指標（高さ方向）

## (2) 解析結果

### ① カメラからの距離に伴う精度の差

一般に、写真測量では、カメラからの奥行き方向の距離が増加する伴い、精度が悪くなることが知られている。これは、読み取りの精度と計算結果の精度の両方について言える。

まず、読み取りの精度についてであるが、同一の写真につき2～4回読み取った場合の読み取り量の標準偏差（不偏分散の平方根）について検討すると、カメラからの隔たりと標準偏差の値との相関係数は-0.012で、無相関である。標準偏差は平均して0.81ピクセルである。同一点の読み取り精度は、このように高い。また、カメラの前方26.68mに想定する画面に平行な平面上では、1ピクセルあたりの対象の大きさは1cm四方である。この大きさは、奥行き距離に比例する。本調査における最遠点は約19mであり、その点における±0.81ピクセルは、±0.56cmに当る。19m程度の奥行き距離では、読み取りの誤差は小さいといえる。

対象点の像の明瞭さが、読み取り誤差に最も大きく影響すると考えられる。

### ② 計算値の誤差

誤差として、基準長に対する誤差率（%）で検討する。誤差率が2%以下のものを「優」、2%超4%以下のものを「良」と評価する。また、奥行き距離を基線長で除したものを「比距離」とする。

横方向の誤差については、写真対（0-1：基線長0.296m）では、比距離38.1（実距離11.27m）以下で「優」である。また、2-3（基線長0.414m）のものは、比距離31.5（実距離13.04m）以下で「優」、40.4（実距離16.73m）以下で「良」であった。その他のデータではすべての距離において概ね「優」であった。

縦方向の誤差については、基線長の短い上記と同じ写真対については、それぞれ比距離49.6（実距離14.68m）および35.8（実距離14.82m）以下であれば「優」、比距離44.2（実距離18.3m）で「良」であった。また、1-3（1.006）で比距離18.1（実距離18.2m）の場合と、0-3（1.298）で比距離14.5（実距離18.8m）の場合に「良」であることを除くと、すべて「優」であった。

奥行き方向の誤差が最も重要な要素である。表1は、比距離に応じた計測結果を示すが、この表から、比距離は概ね15以下であれば、良好な結果が得られるとすることができる。

表1 奥行き方向の誤差

	0-1			2-3			1-2			1-3			0-3		
基線長 (m)	0.296			0.414			0.603			1.006			1.298		
点番号	比 距 離	計 測 結 果	誤 差 (%)												
35	62.9	1.061	6.1	44.2	0.829	-17.1	29.7	1.366	36.6	18.3	1.030	3.0	14.6	0.982	-1.8
37	57.5	1.208	20.8	40.6	1.369	36.9	26.6	0.841	-15.9	16.6	0.972	-2.8	13.2	0.985	-1.5
39	50.2	0.738	-26.2	35.7	0.563	-43.7	24.1	1.186	18.6	14.9	1.045	4.5	11.8	1.031	3.1
41	44.5	0.918	-8.2	31.5	0.799	-20.1	20.9	0.935	-6.5	13.0	0.976	-2.4	10.3	1.039	3.9
43	38.1	0.964	-3.6	27.0	0.971	-2.9	17.9	0.995	-0.5	11.0	0.998	-0.2	8.8	1.006	0.6
45	31.3	1.033	3.3	22.7	1.081	8.1	15.1	1.070	7.0	9.2	0.977	-2.3	7.3	1.003	0.3
47	25.1	0.967	-3.3	18.4	0.981	-1.9	12.2	1.015	1.5	7.5	0.997	-0.3	5.9	1.023	2.3
49	18.8	1.024	2.4	13.9	0.983	-1.7	9.4	1.011	1.1	5.7	0.994	-0.6	4.5	1.010	1.0
51	12.2	1.013	1.3	9.2	0.969	-3.1	6.3	1.005	0.5	3.8	1.001	0.1	3.0	1.007	0.7

### (3) 計測における留意点

誤差の検定から知られた計測における留意点について述べる。

誤差の検定には、ここに報告しなかった結果が良好とはいえない他の写真対もあるが、その写真対の特徴は、カメラの高さが左右で大きく異なる場合である。このような写真対の場合、カメラ光軸周りの回転角が適正に標定し難いものと考えられる。同様の理由で、光軸の方向は、互いに取れんする方向であることが望ましいとと考えられる。また、計測点をモデル座標上で、できるだけカメラに近い点とするために、俯瞰撮影が望ましい。