

平成19年度 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結果について

1 はじめに

本調査研究は、交通事故実況見分に際して作成される現場見取り図をデジタルカメラで撮影した写真により簡便に作成することを目的として始められた。

平成18年度は計測用ソフトウェア言語を Windows 対応に移植する作業やプログラムの改修、カメラ定数を算出するための標定用ボードの準備、実験用カメラの評価などを経て、カメラ定数の算出と対象点計測の試験的開発が進められた。

平成19年度はカメラ定数算定が常に安定した結果が出るよう撮影方法や標定点読み取り方法に改良を加えられ、また事故現場を想定した幅員約8メートルの交差点を地上約3メートルの高さから撮影した1対の写真を用いて、精度の高い点間距離を計測することができた。その概要は研究発表会の項で示す。

一方、この計測は撮影された写真の点と点に対して行うものであるから、作図にあたっては相当数に及ぶ点の計測が必要で、作業の煩雑性も予想されることから、斜め撮影の写真画像を図面と同じ感覚で見ることのできる射影幾何方式の正射投影技術とレンズ歪み補正技術を開発した。

また、歩道の段差や路面勾配など道路の立体構造が作図上の障害となっているので、道路の立体形状を平面化する画像処理技術に取り組み、方向性を得た。以下はその概要である。

2 射影幾何方式による正射投影技術の開発

射影幾何方式の特徴は、撮影された画像をもとに処理をするので、焦点距離や撮影位置など、いわゆるカメラの内部標定も、カメラの傾きなどの外部標定も原則不要である。

特徴点としては、次が挙げられる。

- ① パソコン操作が簡単
- ② 正射投影から斜め投影への逆変換が可能
- ③ 単写真計測
- ④ 2次元計測が原則
- ⑤ カメラを選ばない

(1) 射影変換の原理

測量図は平行線がどこまでも平行になっており、斜め写真の平行線は必ずどこかで交わる（これを「消失点」という）が、正射投影とは斜め写真を測量図のように真上から見えるように表現する射影方法である。

斜め写真にレンズ歪みがなければ、正射投影した画像を処理して作図を完成させることができる。ここでは射影幾何学の複比の概念を応用した。以下に説明する。

図1の四角形abcdは地表面に描かれた矩形を斜め撮影された形状であり、図2は正射投影する際の四角形で、大文字のABCDと小文字のabcdはそれぞれ対応している。

直線abと直線cdの延長線上に消失点V_x、直線bcと直線adの延長線上に消失点V_yがある。任意の点pについてx₁、x₂、x₃、x₄の長さ、同じくy₁、y₂、y₃、y₄の長さから複比は

$$F_x = (x_1 / x_2) / (x_3 / x_4)$$

$$F_y = (y_1 / y_2) / (y_3 / y_4)$$

と定義される。

図2におけるX₁～X₄、Y₁～Y₄の長さから求められた複比とF_x、F_yは不変であるから、次の式が成立する。

$$F_x = (X_1 / X_2) / (X_3 / X_4)$$

$$F_y = (Y_1 / Y_2) / (Y_3 / Y_4)$$

以上の式から図2のW、Hの長さを求め、点Pの座標を得ることができる。

図1 斜め写真

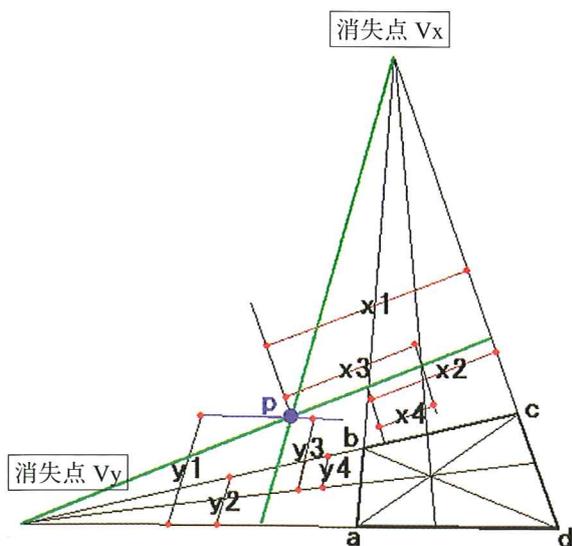
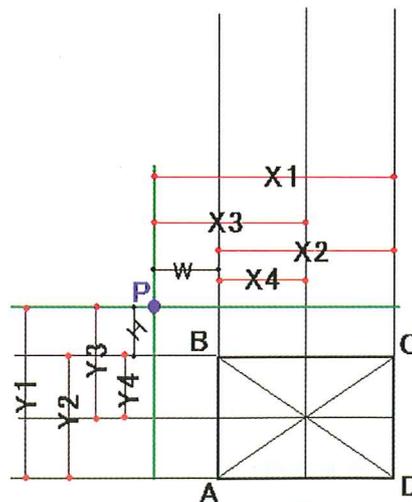


図2 正射投影図



(2) 斜め写真への射影変換

逆に正射投影図の任意の点 P を斜め写真の座標 p に変換することも可能である。逆変換により斜め写真上の点を精密に特定する場合や、斜め写真上の1本の直線を手がかりにしてその平行線を求めるような場合など、作図上有意義な手法となる。

一例として、図3は格子模様を撮影した斜め写真である。斜め写真の性質上被写体の奥は像が収縮して写され、反対に手前は像が拡散して映し出される。そのため、写真の奥の1画素は手前の画素の数倍にも相当するので、線と線の交点を求めるような場合、1画素の位置を誤ると数倍の誤差となって反映される。

図4は、左上隅から逐次逆変換して図3の斜め写真に相当する座標のカラー値を求め、図4上に置き換えたもので、スケールの赤色格子線は画像合成したものである。

この手法によって、画像の奥部分も手前部分もほぼ均等な幅の線を得ることができ、精度のバラつきをなくすることができる。

図3 斜め写真の例

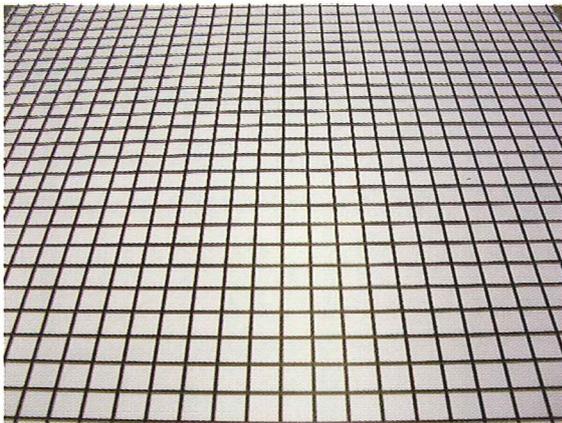
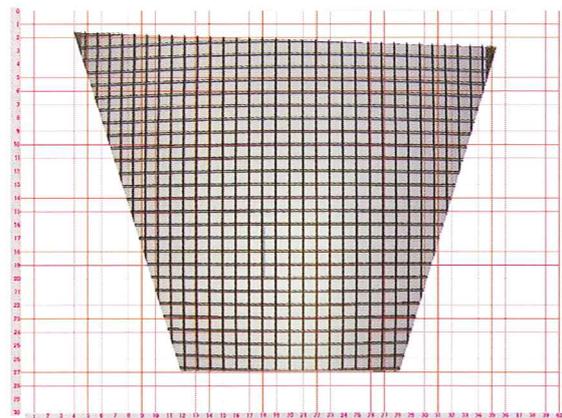


図4 逆変換の例

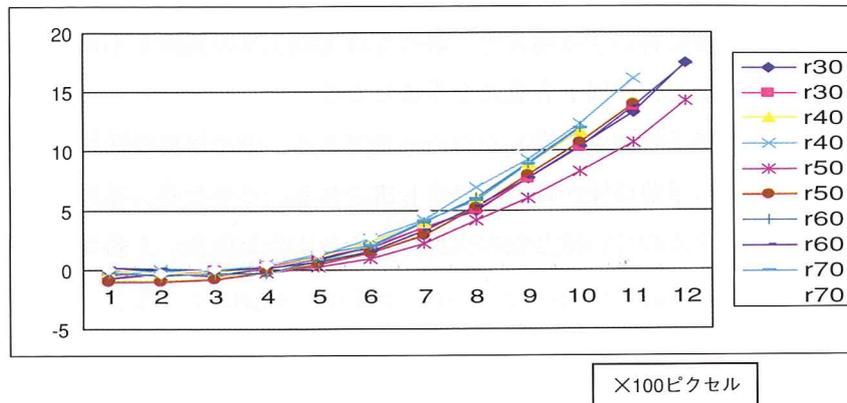


3 レンズ歪みを補正する技術の開発

格子模様のボード（以下「標定ボード」という）を撮影し、正射投影すると、その撮影角度（水平から下方向の角度「俯角」をいう）における歪み量を取得することができる。

図5は、撮影俯角別に画像の中心点からの距離(×100画素)に対する歪み量を画素数で表した実験結果である。凡例 r30~75の数字は俯角30°~75°を表している。一部に外れ数値があるものの、概ね10度以内の撮影角度差であれば歪み量は画像中心から1,000画素の位置で、約2画素内外の差であるから、あらかじめ角度を10度程度変えて標定ボードを撮影しておけば、これを基礎データにしてカメラ校正が可能であろうと推測している。

図5 撮影角度別レンズ歪み量



(1) レンズ歪み量の取得

ア 斜め写真と正射投影図の対応点

図3斜め写真と図4の正射投影図に対応する四角形4点を図の中心付近に設定する。ただし、人間の視認によって指定すると、誤差を生じやすいので交点を自動探索することとした。

イ 正射投影図の交点取得

正射投影を完了すると、図面の中心直近から前記アの方法で格子交点の自動探索を行う。

ただし、画像から直接取得した交点は、撮影条件によって微妙な誤差を生むことがあるので、交点座標の前後の関係から外れ値のない、しかも均等な間隔にある座標を自動選定し、縦横別に2次曲線を求め、縦曲線と横曲線の交点を連立2次方程式で求める。解が複数ある場合、0個の場合、一定の座標内にない場合、などの条件を設定して解が選択される。

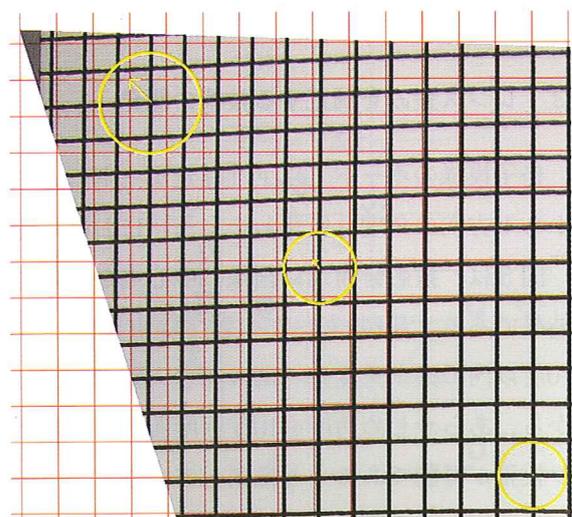
ウ レンズ歪み量のデータ化

正射投影された格子と図面座標の格子は対応しているので、ズレがあれば、それはレンズ歪みの量を表していることになる。

図6はある点が正射投影の中心から離れるに従って歪み量が大きくなっていることを示す。

図面の格子(赤線)は所定のサイズで作成されるので、正射投影上の交点を取得することができれば、図面交点との差、つまり撮影された点と歪みの量は自動的に求められる。

図6 レンズ歪み量



(2) レンズ歪みの補正方法

図面座標において、任意の点Pのレンズ歪みを補正する方法を述べる。

図7において、点Pに直近する正射投影図の格子交点をA群（図7の赤丸）、その対応する図面交点をB群（図7の緑丸）として、それぞれ9点を得る。A群の点と正射投影図の中心点の距離、B群と点と正射投影図の中心点の距離から2次近似曲線を求め、補正すべき距離を得る。

同様に方位の2次近似曲線を求め、距離と方位から最終的な補正位置を決定する。

図8に、図4の左上隅の一部の補正結果を示しており、全画素の補正平均誤差は0.37画素であった。なお、実験に使用した標定ボードの格子間隔は24mm、50画素なので、1画素は0.48mmに相当する。

図7 格子交点の選定

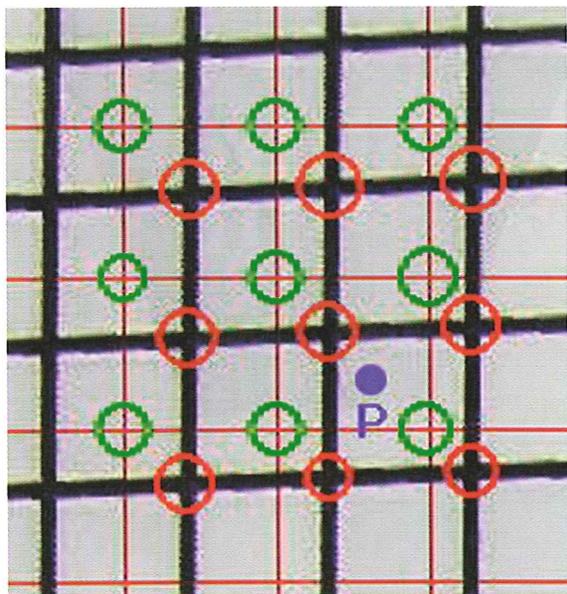
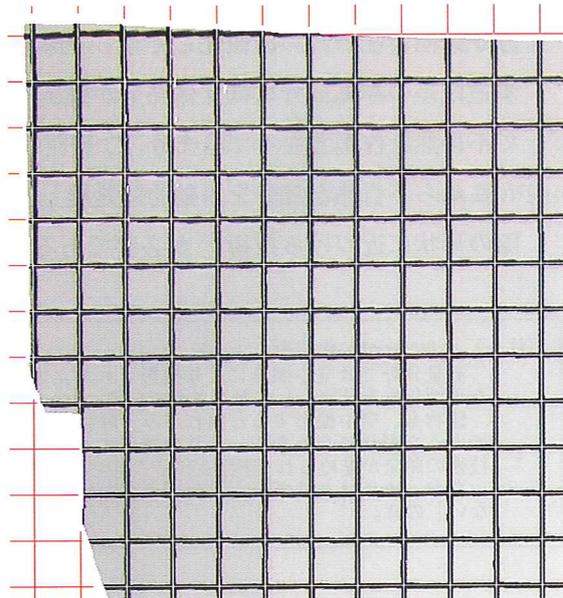


図8 レンズ歪み補正の結果例



4 道路の立体形状を平面化する技術の取組み

(1) 平面化技術の必要性

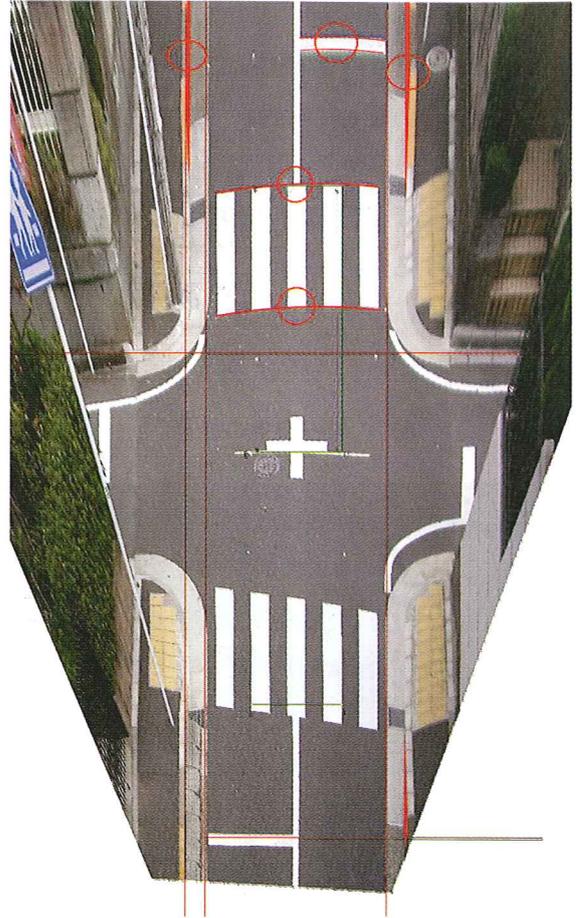
実際に道路の斜め写真を正射投影した場合、建物や道路の立体形状のため、図9に示すようにすり鉢の底を覗くような投影図になる。

交通事故事件実況見分調書見取り図の場合、現場周辺は平面図で表現し、形状の高さ（歩車道の段差、垣根、ガードレール等）が必要な場合は別に表現することが一般的である。

図9の画像を平面図として作図する場合、建物や垣根、柱等は消去するとしても、同図における道路表面の赤丸部分は実際の直線部分が路面勾配のため湾曲化して写っており、歩道段差の赤丸部分には立体部分が残っていて不自然な作図となってしまふ。

これら不自然な部分を自動的に処理して実際の形状に近づける技術^(注1)が必要である。

図9 正射投影例



(注1) オルソ(ortho)化技術

測量分野では空中測量により撮影された立体地形を平面化する技術として普及されている。

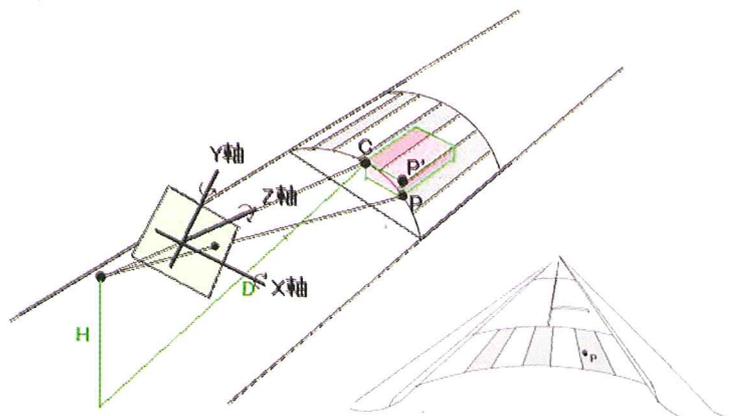
建物も、空中撮影すると倒れこみと呼ばれる図11のような形状になるため、これを補正するオルソ化技術の開発が進められている。

なお、オルソとはギリシャ語で「正しい」「歪みのない」の意。

(2) 平面化処理の方法

立体形状を平面化処理するため、図10で示す立方体を想定し、立方体であれば撮影されているであろう部分を推定する方法を試みた。

図10 平面化処理の考え方



同図において、湾曲した道路表面の任意の点Pをある立方体の一部分と考え、点P'を求めることとする。

なお、同図のP(X_w, Y_w, Z_w)とP'の高さ、カメラ視点の位置(D=距離、H=高さ)、カメラの傾きX・Y・Z軸が判明しているとする。なお、Cは写真画像の中心点であると同時に水平基準点とする。

点P'(X, Y)を現在のカメラ位置と傾きで撮影したとすればどの位置(2次元座標)に表現されるかは透視投影法の次式で求められる。

$$X = X_w * D / (D - Z_w)$$

$$Y = (Y_w * D - H * Z_w) / (D - Z_w)$$

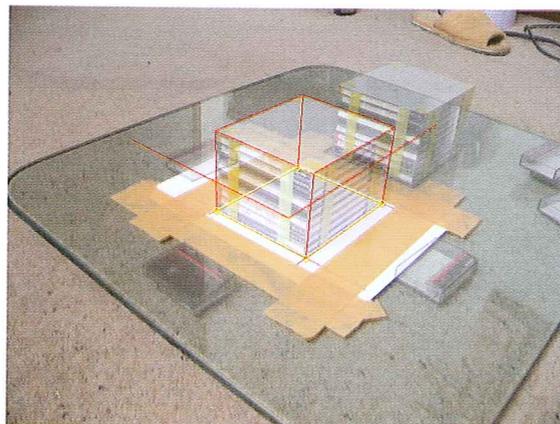
(3) 実験用プログラム

図11 は前記(2)の立方体の見えない部分(陰点)を推定する実験の結果である。

箱の底面と同じ大きさの線を紙に書いて(図中黄色線で示した部分で、同時に斜め画像の基準となる四角形を兼ねている)撮影した画像と、その紙の上に置かれた箱の画像を半透明に合成して演算の結果を赤線で示し、箱の大きさと赤線が一致するかどうかの実験である。

ここでは箱の実寸(幅、奥行、高さ)が既知との前提で、黄色線の四角形4点によりカメラの撮影位置、撮影角度等のパラメーターを自動取得し、透視投影された箱の赤色フレーム線が箱の形状と一致できることを示した。

図11 実験結果



5 今後の課題

ステレオカメラ方式による点の位置計測技術を開発し、作図技術への応用の段階に入ったが、ユーザーの作業負担を考慮すると面の計測も必要であることが判明した。

そこで、射影幾何方式の正射投影技術とレンズ歪み補正技術の開発を進めると共に立体形状を平面化する技術の取り組みも始められた。

今後の課題として、レンズ歪み法則性の解明と平面化处理ための高さ情報取得簡易化を進め、完成度の高いアプリケーションソフトの開発を進めることになろう。