

# 未校正カメラを用いた 2次元デジタル画像から3次元モデル空間の創出に関する研究

北川悦司

A Study for Producing 3D Model Space from 2D Digital Images  
Using Uncalibrated Cameras

Etsuji KITAGAWA

## [抄録]

近年、コンピュータ技術とデジタルカメラの発展に伴い、2次元の画像データから3次元データを取得するための写真測量技術に関する研究が多数行われてきた。しかし、ほとんどの場合は、レンズの歪みなどを校正したカメラの使用を前提としており、未校正カメラでは高精度の3次元データの取得が難しいのが現状である。

そこで、本研究では、計算が収束しない未校正カメラの場合においても、遺伝的アルゴリズムを用いて準最適なパスポイントの組み合わせを決定する手法を考案した。

## [Abstract]

In recent years, with the development of computer technology and the digital camera, much research on photogrammetry technology that enables the acquisition of 3 dimensional data from 2 dimensional image data has been going on. However, since most of this research has been conducted on the assumption that cameras, in which distortion of their lens has been calibrated, are used, acquisition of highly accurate 3 dimensional data using uncalibrated cameras is still difficult.

In this research, to change this situation, we have conceived a method of calculating the combination of sub-optimal passpoints using a genetic algorithm that works even with uncalibrated cameras where calculations do not converge.

## [キーワード]

未校正カメラ, 写真測量技術, 遺伝的アルゴリズム, 準最適パスポイント

## [Keywords]

Uncalibrated Camera, Photogrammetry Technology, Genetic Algorithm, Sub Optimal Passpoint

## I. まえがき

近年、3次元のCADやCGに代表されるように、現実世界のオブジェクトをコンピュータ上に表現した3次元モデル空間が注目されている。3次元モデル空間を創出するためには、第一に、対象オブジェクトの形状を表す3次元データを取得する必要がある。この手法には様々なものが存在するが、2つに大別される<sup>[1]</sup>。1つは、オブジェクトにレーザ光や超音波などを投影し、その反射を観測することでオブジェクトまでの距離を測定する手法である<sup>[2]–[6]</sup>。この手法は、高精度である、動作が安定しているなどの利点がある。しかし、特殊な装置が必要なため、費用がかかるという問題点がある。また、オブジェクトの材質によって投影されたレーザ光などに歪みが生じるため、利用できるオブジェクトに制限があるという問題もある。もう1つの手法は、複数台のデジタルカメラから同一オブジェクトを撮影し、各画像上の投影位置のずれに基づいてカメラから物体までの距離を測定する写真測量技術である。この手法は、デジタルカメラのみを用いて実現できるため、費用が安価であり、対象オブジェクトに制限がないなどの特徴がある。

この写真測量技術は、災害対策<sup>[7]–[9]</sup>や地図作成<sup>[10]</sup>などの様々な分野で利用されている。しかし、ほとんどの場合は、レンズの歪みなどを校正したカメラの使用を前提としており、未校正カメラでは高精度の3次元データの取得が難しいのが現状である。未校正カメラを利用した研究では、自動的にカメラ校正を行う自己校正法<sup>[11][12]</sup>の研究が行われている。しかし、この手法は、3枚以上の画像が必要であり、複雑な処理が必要になる<sup>[13][14]</sup>。

そこで、本研究では、未校正カメラで撮影した画像でも、高精度の3次元データを取得する手法の構築を目的とする。具体的には、遺伝的アルゴリズム<sup>[15][16]</sup>を用いて準最適なパスポイントの組み合わせを決定する手法<sup>[17]</sup>の開発を目指す。本手法は、自動的にカメラ校正を行う自己校正法ではなく、レンズの歪みなどで形状が変形した画像のまま準最適なパスポイントの組み合わせを決定する。そのため、自己校正法と組み合わせることができるなどの利点もある。また、本手法は、光で陰になった場合や人為的ミスが起こった場合などの精度の悪い対応点（画像間の同じ点）は利用しないという特徴がある。そのため、本研究は、カメラ校正済みのカメラで撮影した画像の精度向上にも繋がる。

## II. 未校正カメラを用いた写真測量

### 1. 写真測量の概念と誤差

写真測量の原理は、フィルム面（CCD面）に投影されたオブジェクトの像の幾何学的情報からオブジェクトの形状に関する情報を取得する技術であり、図1に示すように、オブジェク

トとレンズ中心、フィルム面上の像の3点が同一直線にある幾何学条件（共線条件）を用いる<sup>[18]</sup>。例えば、水中にある対象物を水の外から撮影した写真や高熱の溶鉱炉内部を撮影した写真などでは、対象物からレンズ中心に至るまでの光は途中で屈折し直進しない。しかし、ほとんどの写真は空気中で撮影されるので、一般的には、共線条件が適用可能である。厳密に言えば、たとえ空気中であっても、光は空気の密度や温度差によってわずかに屈折し、レンズを通過する時にもわずかに曲げられる。したがって、写真測量において計測精度を上げるためには、共線条件を妨げる諸原因を取り除くなどの補正が必要となる。特に、レンズディストーションは光の直進性を最も妨げる要因のため、カメラ校正で補正しなければ3次元データの取得が困難になる<sup>[19]</sup>。

## 2. 未校正カメラの問題点

未校正のカメラで撮影した画像を用いた場合は、レンズの中心から離れれば離れるほど共線条件を妨げる。1cmの正方形を白黒交互に並べたシートを真上から未校正カメラで撮影した画像を図2に示す。この画像からは、直線が歪んだり、中心から離れるほど正方形の一边が短くなるなど、形状が変形しているのが確認できる。また、写真測量は、基本的に最小二乗法などの近似計算を用いて、撮影時のカメラの位置と傾きを算出する技術である。そのため、未校正カメラを用いた写真測量では、画像の形状が変形されているため、多くの場合が収束しない。仮に収束した場合でも、信頼性に欠けるなどの問題点がある。

## Ⅲ. 写真測量への遺伝的アルゴリズムの適用

### 1. 準最適パスポイントの重要性

パスポイントとは、カメラの撮影状態を再現する計算に用いる対応点のことである。パスポイントは、数学上最低5点以上必要であるが、一般的には10点前後利用する<sup>[18]</sup>。写真測量は、パスポイントを用いて収束計算を行うため、パスポイントの精度が悪い場合は3次元データを取得できない。特に、未校正カメラを用いた場合は、画像上の形状が変形しているため、パスポイントの精度は悪くなる。さらに、近似計算のため、多くのパスポイントを採用しても精度が向上しないという問題がある。そのため、パスポイントの組み合わせが、高精度の3次元データを取得するのに一番重要である。このパスポイントの組み合わせ方法に関しては、手動で行う方法しか存在しない。

そこで、本研究では、準最適なパスポイントの決定のために、非線形な組み合わせ問題に適した遺伝的アルゴリズムを用いる。この方法を用いると、最適ではないが、準最適な解を高速に算出することができる。

## 2. アルゴリズムの概要

本研究では、遺伝的アルゴリズムの処理の中で、写真測量の相互標定と絶対標定 [18] [19] を繰り返しながら準最適パスポイントを決定する。本手法の流れを図3に示す。

### 1) 評価関数

評価は、絶対標定により算出された基準点の残差を用いる。しかし、基準点残差のみではデジタル画像の一部分のみ精度が良い局所解に陥る可能性がある。そのため、パスポイント全てにおいて相互標定により算出される縦視差の平均値を算出し、その値が任意定数  $\alpha$  以内でなければ、再度選択、交叉、突然変異を繰り返す。

### 2) 遺伝子の生成

本研究では、評価値が一定以上のエリートの遺伝子列を5個体、ランダムに生成した遺伝子列を5個体の合計10個体の遺伝子を生成する。写真測量のパスポイントは、数が多ければ良いというものではない。そのため、全点数が50以内の場合は1を1/2の確率で発生させる、51点以上の場合、1を25/全点数の確率で発生させる。遺伝子列のモデル例を図4に示す。

### 3) 遺伝子の選択

評価値が一定以上のエリートの遺伝子列をランダムで2個体選択する。

### 4) 遺伝子の交叉

交叉ポイントがランダムな2点交叉を行う。

### 5) 遺伝子の突然変異

パスポイントは、1点の追加、削除で精度が大幅に変わるため突然変異率を5%と大きめに設定する。

### 6) 遺伝子の淘汰

本研究では、評価値が低い2個体を淘汰する。

## IV. 実証実験

本研究では、未校正のデジタルカメラを用いて地上写真測量の平行撮影と収斂撮影について、精度の検証を行った。

## 1. 平行撮影

原点から7.5m離れて平行撮影した2枚の写真(図5)を用いて、未校正画像上で取得した対応点を10点、実際には対応点にならないゴミデータを2点入力し、点1～4の距離の解析を行った。その結果、表1に示すように、平均誤差約1,2%以内の精度で3次元データを取得できた。

## 2. 収斂撮影

原点から7.5m離れて収斂撮影(撮影角55°)した2枚の写真(図6)を用いて、未校正画像上で取得した対応点を10点、実際には対応点にならないゴミデータを2点入力し、点1～4の距離の解析を行った。その結果、表2に示すように、平均誤差約1,2%以内の精度で3次元データを取得できた。

## 3. 考察

実証実験の結果、未校正カメラを用いた平行撮影、収斂撮影の両方とも、平均誤差約1,2%以内の精度で3次元データを取得できた。また、ゴミデータを2点入力したにもかかわらず、自動的にそのデータをパスポイントとして利用しないと判断できた。以上のことから本研究が有用であることがわかる。また、自己校正法と組み合わせることにより更なる精度の向上が見込めると考える。

## V. あとがき

本研究では、計算が収束しない未校正カメラの場合においても、遺伝的アルゴリズムを用いて準最適なパスポイントの組み合わせを決定する手法を考案した。それに伴い、未校正カメラでも高精度の3次元データを取得できることを実証した。また、本手法は、光で陰になった場合や人為的ミスが起こった場合などの精度の悪い対応点を自動的に利用しないと判断できることも実証した。更なる精度向上に向けての自己校正法との組み合わせなどは、今後の研究に委ねる。

### [参考文献]

- [1] 井口征士, 佐藤宏介: 三次元画像計測, 昭晃堂, 1990.
- [2] 政春尋志: ヘリコプター搭載レーザースキャナーによる都市三次元情報の計測, 写真測量とリモートセンシング, 日本写真測量学会, Vol.39, No.2, 2000.

- [3] 織田和夫：レーザスキャナと空中写真による自動都市モデル構築，第1回ITSシンポジウム，2002.
- [4] 織田和夫，沼田洋一，斉藤和也：レーザスキャナによる自動都市モデル構築へ～LaserBird II，写真測量とリモートセンシング—空間情報の計測と利用—，日本写真測量学会，Vol.41，No.4，pp.46-49，2002.
- [5] Bajura, M., Fuchs, H., Ohbuchi, R. : Merging virtual objects with the real world -Seeing ultrasound-, Commun. ACM, Vol.36, No.7, pp.52-62, 1993.
- [6] 田中弘美，李相善，松本卓，金子昇治：バーチャルミュージアムシステムのための画像情報を用いた3次元物体モデリング，情報処理学会論文誌，情報処理学会，Vol.40，No.3，pp.931-938，1999.
- [7] 村木広和，田中成典，古田均，北川悦司：デジタルカメラとGPSを用いた計測手法による3次元データの取得に関する基礎研究，第24回土木情報システムシンポジウム，土木学会，pp.65-68，1999.
- [8] 張志毅，今野晃市，徳山喜政：オフセット曲線を利用した山岳地形の3次元モデル生成手法，第65回（平成15年）全国大会講演論文集，情報処理学会，No.4，pp.95-96，2003.
- [9] 吉澤考和，西澤茂高，三澤敏雄，根岸六郎：地すべりの挙動解析における写真測量の応用，写真測量とリモートセンシング，日本写真測量学会，Vol.30，No.5，pp.8-20，1991.
- [10] 石川裕治，宮川勲，若林佳織，荒川賢一：空撮影像の分割と統合による広域市街地空間モデルの自動構築，情報処理学会論文誌，情報処理学会，Vol.45，No.SIG 13(CVIM 10)，pp.21-33，2004.
- [11] 佐藤淳：コンピュータビジョン-視覚の幾何学-，コロナ社，1999.
- [12] 徐剛，辻三郎：3次元ビジョン，共立出版，1998.
- [13] Bougnoux, S. : From projective to Euclidean space under any practical situation, a criticism of self calibration, Proc. 6th Int. Conf. Comput. Vision, India, pp.790-796, 1998.
- [14] Pollefeys, M., Koch, R. and Van Gool, L. : Selfcalibration and metric reconstruction in spite of varying and unknown internal camera parameters, Int. J. Comput. Vision, Vol.32, No.1, pp.7-26, 1999.
- [15] 北野宏明：遺伝的アルゴリズム，産業図書，1993.
- [16] 古田均：遺伝的アルゴリズムの構造工学への応用，森北出版，1997.
- [17] 村木広和，田中成典，古田均，北川悦司，野田肇：写真測量技術を用いた2Dデジタル画像からの3Dモデル空間の創出に関する基礎研究，土木情報システム論文集，土木学会，Vol.9，pp.67-74，2000.
- [18] 解析写真測量委員会：解析写真測量（改訂版），日本写真測量学会，1997.
- [19] カール・クラウス：写真測量，技術書院，1993.

## [図表]

表1 平行撮影の解析結果

パスポイント間	解析結果(m)	実際の距離(m)	誤差(m)	誤差率(%)
点1-点2間	1.795688137	1.80	-0.004311863	-0.239547939
点2-点3間	5.944816614	5.97	-0.025183386	-0.421832260
点3-点4間	1.972639081	1.89	0.082639081	4.372438134
点1-点4間	6.546802228	6.55	0.003197772	0.048820947

表2 収斂撮影の解析結果

パスポイント間	解析結果(m)	実際の距離(m)	誤差(m)	誤差率(%)
点1-点2間	1.80983029	1.80	0.00983029	0.546127241
点2-点3間	5.896874299	5.97	-0.073125701	-1.224886114
点3-点4間	1.877446592	1.89	-0.012553408	-0.664201474
点1-点4間	6.392613989	6.55	0.157386011	2.402839856

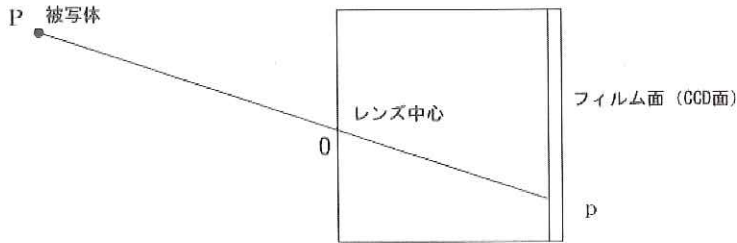


図1 写真測量の原理 (共線条件)

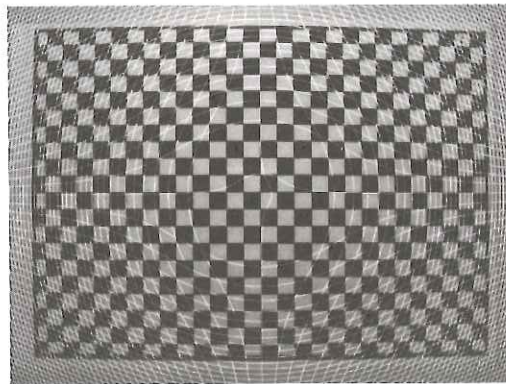


図2 未校正カメラで撮影した画像

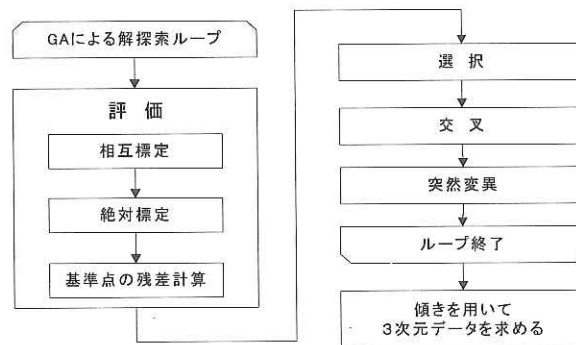


図3 準最適パスポイント決定の流れ

		点名					
		1	2	3	4	...	N
染色体名	①	0	1	1	0	...	0
	②	1	1	1	0	...	0
	③	0	0	0	1	...	1
	...	...					
	④	1	1	0	1	...	1

- ・値が1の場合: その点を利用する
- ・値が0の場合: その点を利用しない

図4 遺伝子列のモデル例



左から撮影した写真



右から撮影した写真

図5 平行撮影画像



左から撮影した写真



右から撮影した写真

図6 収斂撮影画像

[謝辞]

本研究を遂行するにあたり、関西大学総合情報学部総合情報学科古田均教授及び田中成典教授にご指導いただきました。心より感謝の意を表しますと共に厚く御礼申し上げます。

(2006年1月16日受理)