

## 13. 環境情報取得におけるUAV活用の検討

中村栄治・山本義幸

### 概要

無人飛行体（UAV）に搭載したカメラで地上を空中から撮影することにより、人工構造物や地形などの形や位置などの環境情報を色付き点群データとして取得する検討を行った。UAVは操作性と機動性に優れ、短時間で広範囲に渡り地上の被写体を様々な視点から撮影することができる。この多視点撮影は点群データ生成には必須の条件である。写真から得られた点群データは点密度がレーザ計測から得られたものに比べ、極めて高いのが特徴である。車載レーザ計測によるMMSと比較することで、点群データの幾何学的精度を検証した。

### 1. UAV

#### 1.1 急速な普及

UAV（Unmanned Aerial Vehicle）とは無人で飛行し、オペレーターが離れた位置にいても、無線により操作が可能な飛行体のことである。このような遠隔操作型の無人飛行体は最近になって発明されたわけではなく、いわゆるラジコンと呼ばれる飛行玩具があるように、何十年も前から存在しているものである。近年、急激に脚光を浴び始めた理由は、複数枚の回転プロペラを採用したUAVが発明されたことが大きい。

ヘリコプタも回転プロペラを持つ飛行体ではあるが、ヘリコプタは主ロータで回転駆動するプロペラと、主ロータの反作用で機体が逆回転しないようにするために尾翼に設けられた補助プロペラから構成される。その操縦はラジコンであっても極めて難しいため、ラジコンヘリの運用には操縦の訓練を受けた熟練者が必要となり、農業散布など限られた分野のみで利用されている。

一方、大きさが同じ複数のプロペラを持つ無人飛行体は、各プロペラの回転数を制御するだけで飛行姿勢や飛行経路を容易にコントロールできる特徴がある。さらに、モータでプロペラを直に回すという極めてシンプルな構造であるため、安価に機体を製作できる。このような理由により、近年、急速に複数枚のプロペラを持つUAVが普及するに至っている。

#### 1.2 実機の詳細

図1は本研究で使用したUAV（型番MZ-6、K&S株式会社、名古屋市）である。6枚のプロペラを持ち、ペイロード（リフト可能最大重量）は10kgである。飛行の安定性や操縦性を考えると、ペイロードの半分程度の機材をリフトするのが限度であるため、実際には5kg程度までの機材を搭載した運用になる。



図1 UAV（直径約1m）



図2 GPS信号受信アンテナ

図2は機体の上部に位置するGPS信号受信アンテナ（円盤状の物体）である。機体の操縦には必ずしもGPS信号を受信する必要はないが、GPS信号による自己位置把握ができることで安定した飛行が可能になる。実際の運用では、GPS信号を受信しながら操縦者のマニュアル操作によりUAVを飛行させることになる。図2に示すGPS信号受信アンテナの左に写っているのが2個バッテリーである。それらの総容量は12,000mAhであり、最長15分間の飛行ができる。安全を見越して、実際には10分を超えない範囲で運用した。

地上からUAVの飛行位置を大雑把に把握することはできるが、UAVに搭載したカメラが捉えている撮影範囲を推定することは難しい。そのため、図3に示すように、機体下部に吊り下げられたジンバルの上部にビデオカメラを取り付け、ビデオカメラから図4に示す機体コントローラ（通称プロポ）に備え付けられたモニタにライブ映像を送るようにした。地上を画像として撮影するスチルカメラはジンバルの下部に取り付け、ビデオカメラと同じ視線方向になるように設定した。



図3 2種類のカメラ(上：ビデオ、下：スチル)



図4 プロポとモニタ

## 2. 色付き点群データの生成

### 2.1 色付き点群データ

色付き点群データとは、点の位置（X座標値、Y座標値、Z座標値）と点の色（R成分、G成分、B成分）を要素とする6次元ベクトルから構成されるベクトルの集合体である。個々の点が被写体上の点に対応する。つまり、3次元である被写体であれば、被写体の表面を点の集合体で表したものが点群データとなる。点群データは、(1)レーザ計測か(2)写真計測により得ることができる。レーザ計測では、レーザパルス光が被写体の表面にスポットとして照射され、パルスの往復時間もしくは出射パルスと帰射パルスの位相差により、光源から被写体までの距離が推定され、パルスの出射角と合わせることで、被写体の3次元点群を得ることができる。一方、写真計測では、被写体を複数の視点から撮影することで、写真の各画素が3次元空間において被写体のどの表面と対応するかを推定し、これにより被写体の3次元点群を得ることができる。

### 2.2 点群生成の原理

被写体を写真で撮影すると、3次元である被写体の奥行き情報が欠落して2次元の画像となってしまう。ところが、被写体を複数の異なる視点から撮影し、被写体の同じ場所が異なる画像では、どこの部分に写っているかを明らかにすることで、欠落した被写体の奥行き情報が画像から復元することができる<sup>1)</sup>。非常に不思議に思える話であるが、写真から得られる画像の特性を考えると当然である。画像は被写体の形態情報を反映しているだけではない。カメラの撮影位置や焦点距離が異なれば、同一の被写体であっても異なる画像が得られるため、画像は被写体が撮影された位置や焦点距離の情報（カメラパラメータと呼ぶ）も含んでいると考えることができる。つまり、複数の画像の集合からカメラパラメータが推定できる。カメラパラメータは行列で表現でき、被写体上の任意の点（3次元ベクトル）とカメラパラメータの積を計算すると、画像を数式処理により生成すること

ができる。つまり、被写体の表面形状と画像とはカメラパラメータを介しての線形関係になっている。この性質により、複数の画像から被写体の表面形状、すなわち、表面の3次元座標が推定できることになる。写真においては被写体表面の色情報も取得できるため、写真から色付き点群が生成されることになる。

写真からの点群生成におけるアルゴリズムは、(1)カメラパラメータを推定するためのSfMアルゴリズムと、(2)カメラパラメータを介して画素から点群を生成するMVSアルゴリズムから成る<sup>1)</sup>。SfMとはStructure from Motionの略で、カメラを動かしながら撮影して（異なる視点から撮影しながら）、被写体の形態を推定するという意味である。MVSとはMulti View Stereoの略で、複数の画像に含まれる画素を基にして、それらの画素が3次元空間では被写体表面のどの位置に対応するかを推定するという意味である。

### 3. 環境情報取得の実例

#### 3.1 建物の点群データ

建物の色付き点群データの取得について述べる。図5は5号館やその回りの建物を撮影するために飛行するUAVを捉えたスナップショットである。図6は撮影された画像の一例である。撮影に使用したカメラはリコーのGRである（画像解像度4928×3264ピクセル）。毎秒1回の割合で自動的に写真を撮影するモードに設定したが、実際にはピントが合うのに時間がかかることが多く、1分間で30～40枚の割合で撮影を行った。



図5 撮影飛行するUAV



図6 空撮画像の一例

1フライトで300枚前後の写真を撮影するが、それらの写真から色付き点群を生成した例を図7に示す。これは5号館を中心としたエリアを北東上方から見下ろした角度で点群データをビューワで表示し、画面キャプチャして得られたものである。図8は南西上方から見下ろした角度での点群データである。建物の壁面ばかりでなく屋上も点群として3次元復元されていることがわかる。さらには、地上の植込や道路も点群として復元されていることが確認できる。



図7 北東上方からの見下ろし



図8 南西上方からの見下ろし

### 3.2 平面直角座標への変換

写真では、被写体の奥行き情報が欠落するばかりでなく、被写体の大きさの情報（スケールと呼ぶ）も欠落する。つまり、写真から生成される3次元の点群データには被写体の形は保存されているものの、被写体の大きさ情報は失われている。スケールが欠落した状態では、3次元点群データを環境情報として活用できない。また、点群データの座標値は撮影位置を基にした値であるため、カメラを基準としたローカル座標値となっており、既存の地図との相関が失われてしまっている。

本研究では、得られた点群データの中から同一平面上にない4点を選択し、これらの点の平面直角座標（日本測地系座標）をGPS受信機もしくはトータルステーションで計測し、4点におけるローカル座標と平面直角座標との対応関係を使って他の点の座標変換を行い、失われたスケールを復元するとともに、点群データを地図データと照らしあわせて利用できるようにした。座標変換において4点の計測誤差の影響を低減するために、できる限り離れた4点を選択した。

### 3.3 点群の幾何学的精度

図9に示すのは、車載レーザ計測によるMMSとの道路断面における形状の比較である<sup>2) 3)</sup>。図9の左図が断面比較の場所を表しており、図9の右図が断面の形状を2種類の実線で表している。いずれの場所においても、両者は似通った形状をしている。各場所での最大誤差が発生したポイントを丸印で示しており、場所1から4での最大誤差（単位はcm）は1.4、8.8、12.0、5.0であった。

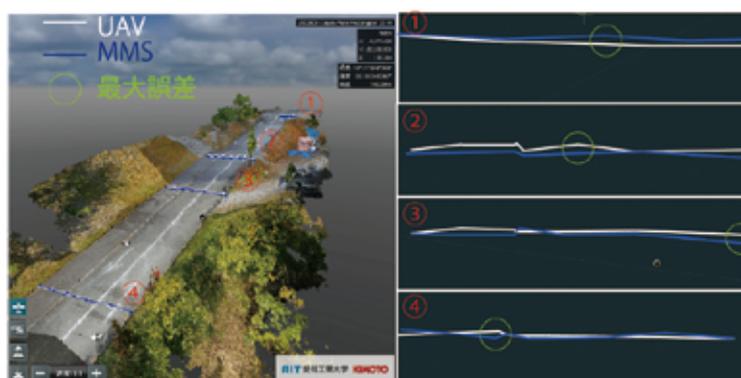


図9 道路断面の比較

## 4. まとめ

UAVからの空撮で得られた多視点画像を基にして、建物や道路を中心とした高密度点群を生成する検討を行った。環境情報としてどの程度までの幾何学的精度が要求されるかを議論する必要があるが、MMSの点群データと比較する限り、10cmを超える誤差が生じる場合があることがわかった。今後、建物についての誤差検証も行い、誤差の発生要因の分析と誤差の低減方法を検討する予定である。

### 謝辞

点群データのUDSフォーマットへの変換を株式会社きもとの羽鳥良子氏に行っていただきました。心から感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 八木康之, 斉藤英雄編: コンピュータビジョン最先端ガイド5, アドコム・メディア, 2012年.
- 2) 後藤秀斗: UAV写真測量の土木への応用, 愛知工業大学大学院経営情報科学専攻修士論文, 2015年.
- 3) 岩坂謙吾: UAVによる路面情報の取得, 愛知工業大学情報科学部情報科学科卒業論文, 2015年.