

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420560

研究課題名(和文) 都市洪水拡散シミュレーションのための都市標高モデル作成システムの開発

研究課題名(英文) Development of building high precise digital elevation model for simulation of flood diffusion inside city area

研究代表者

徳永 光晴 (TOKUNAGA, MITSUHARU)

金沢工業大学・環境・建築学部・教授

研究者番号：00301135

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、自立型ラジコンヘリにカメラを搭載し、都市内水の洪水拡散のシミュレーションに活用可能な高精度な標高モデルを作成する手法を開発し、その精度を評価した。3次元モデルを作成する手法として、SfM法(Structure from motion)を採用した。3次元モデルに位置情報を付加しなければ標高モデルとして利用できないが、基準点の数と配置と精度の関係を明らかにした。また、自立型ラジコンヘリの高度、カメラなど条件を変えて、それらのパラメータと精度の関係を明らかにした。得られた標高モデルが都市内水の洪水拡散のシミュレーションに利用できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this study, the methodology to build a high precise digital elevation model (DEM) using simulation of flood diffusion inside city area was developed. The methodology was based on SfM (Structure from motion). Three dimensional model derived from SfM does not have location information. Therefore, some ground control points (GCP) should be utilized. The relationship of number and distribution of GCP and accuracy of DEM was to clarify. Additionally, the height of UAV, a kinds of camera has revealed the impact on accuracy. Finally, the DEM built by our developed method were confirmed that available for the simulation of flood diffusion inside city area.

研究分野：リモートセンシング

キーワード：デジタル標高モデル DEM ドローン UAV 洪水予測

1. 研究開始当初の背景

(1) アジアモンスーン地域では多雨地域が多く存在し、また多くの国は発展途上国であるために都市の雨水排水設備が十分整備されておらず、都市では短時間で頻繁な洪水を経験している。地球温暖化による影響で豪雨などの極端な気象現象が多く観察されると予測されており、都市のインフラ整備が遅れると都市内における洪水発生は防止できない状況にある。すでにバンコクやマニラにおいて大規模な都市の内水洪水が発生している。ここでいう洪水は、河川の堤防が決壊して急速な泥流によって建物などを毀損する外水洪水ではなく、溜池やマンホールなどから汚水が噴出し、その深さも1メートル以内で、なおかつ強烈な流れを伴わない洪水を示す。つまり水位がゆっくりと上昇する内水洪水を研究対象とする。最近の調査でこのあふれ出る水は汚染物質を多く含んでおり、特に水系感染症の原因となる病原微生物が多く存在している可能性が高いことが解ってきた。洪水による水系感染症リスクを把握するためには、洪水の拡散分布の予想が必須となるが、それらをシミュレーションするためには、都市域の詳細な地面の高低情報、すなわち標高モデルを整備する必要がある。研究対象とするアジア途上国の都市部ではそれらが整備されていないため、都市の標高モデルを作成する意義は大きい。

(2) 先進国では、航空機から写真撮影やレーザーデータ計測を活用することで標高を求めることができるが、当該地域では航空機データが利用できないため、別のアプローチが必要となる。本研究では、都市内水の洪水拡散のシミュレーションに活用可能な高精度な都市の標高モデルを作成するために、自立型ラジコンヘリ(UAVもしくはドローンと呼ばれる)にカメラを搭載し、それらの写真画像から標高モデルを作成するアルゴリズムを開発し、その有効性を検討するものである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、都市内水の洪水拡散のシミュレーションに活用可能な高精度な都市の標高モデルを、自立型ラジコンヘリで撮影した写真を元に標高モデルを作成するシステムを開発することである。自立型ラジコンヘリに搭載されたカメラの位置および姿勢の情報がないため従来の写真測量技術が適応できない。このため、コンピュータ・ビジョン分野で利用されている SfM (Structure from motion) 法を適用し標高モデルを作成する手法を開発する。SfM 法により作成した 3 次元モデルは位置情報がないため、3 次元モデルをそのまま標高モデルとして利用することはできない。そのため、位置情報を付加するために、位置情報を有する地上基準点を利用しなければならない。地上基準点を作成するためには、精密測量を必要とするため、この数が少ないほど効率的に標高モデ

ルを作成することができる。その一方で、標高モデルの精度の劣化が懸念される。したがって、地上基準点の数および配置と作成される標高モデルの関係を評価した。さらに、自立型ラジコンヘリの高度によって、写真の地表面の解像度が異なり、標高モデルの精度に影響する。またカメラに搭載したレンズの特性によっても精度に影響をあたえるため、これらのパラメータと標高モデルの精度の関係を明らかにする。最後に本手法により得られた標高モデルを利用して、洪水を起因とする水系感染症リスクを算出し評価する。

3. 研究の方法

(1) カメラのレンズ歪み

3 次元モデルを作成するときに、カメラのキャリブレーションを行うが、広角レンズと標準レンズでは、キャリブレーションの精度が異なっていることが懸念される。そのため、異なるレンズで地表を撮影し、その精度を比較した。

(2) 写真のオーバーラップ率

SfM 法は、画像中の特徴点をつなぎあわせてモデルを作成するため、1 つの場所に対して何枚の画像があるのかが、精度に影響を与える可能性がある。写真撮影のインターバル間隔を変更し、その精度の変化を評価した。

(3) 地上基準点の設置

地上基準点には、標高モデルに位置情報を付加する点と標高モデルの精度を評価する点の役割を有する。実験では、約 20 点の地上基準点をランダムに配置し、データ処理時においてどの点を利用するのかを決定した。地上基準点の位置は、トータルステーションにより測量ミリメートル精度を確保した。

(4) 写真の明度

SfM 法は、画像中の特徴点をつなぎあわせてモデルを作成するが、画像が暗い場合は特徴点の抽出エラーが発生することが懸念される。そのため、晴天時と曇時に地表面を作成し、精度に与える影響を評価した。

4. 研究成果

(1) カメラ・レンズの歪みによる精度への影響

本検証では、DP2 の推奨カメラである GP3 で撮影画像を使用し構築する UAV-DSM の精度評価を行うため、普通角レンズ内臓の P6000 と比較評価を行った。GP3 は写角約 170 度の超広角カメラである。特徴として高解像度、超広角、軽量である。しかし GP3 は小型であるため GP3 内臓イメージセンサーが小さく、これを補うため超広角レンズを採用している。また、一般的に航空カメラなどの写真測量用カメラには、レンズ歪みが大きい広角レンズは向かない。しかし、UAV に積載できるカメラとして重要事項として形状と重量であり、この点を踏まえると DP2 に積載するカメラとして GP3 は最適であると考えられる。よって 3.2 章では、普通角レンズの P6000 と超広角レン

ズの GP3 から構築される UAV-DSM の測量精度の評価を行った。下図に、P6000 使用し構築した UAV-DSM を示す。

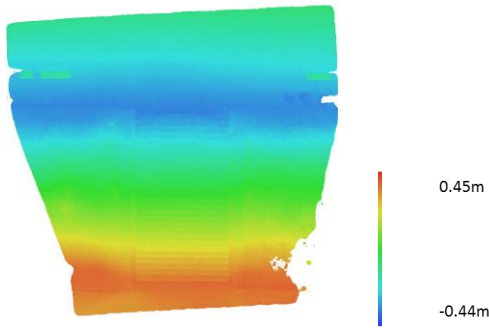


図 1 UAV-DSM (P6000)

表 1 UAV-DSM (P6000) の計測精度

	X (m)	Y (m)	Z (m)	Error (m)
標準偏差	0.034	0.062	0.056	0.050

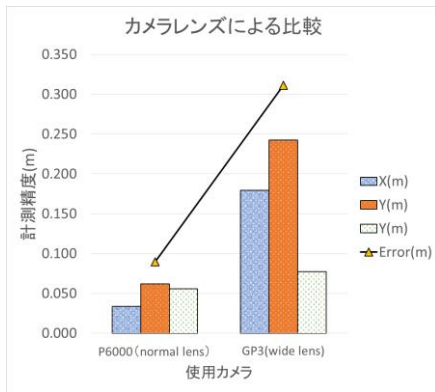


図 2 カメラレンズによる精度比較

(2) 写真のオーバーラップ率の精度への影響

図 3 に、1 秒間隔で 12 枚撮影した画像を使用し UAV-DSM を示す。

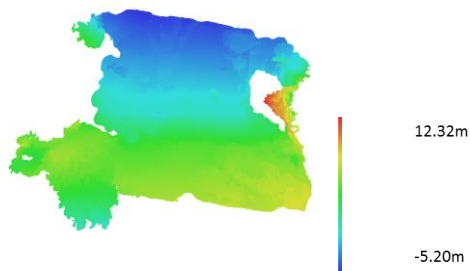


図 3 UAV-DSM (1s)

1 秒間隔で撮影したところ O.L:90%以上、S.L:95%を確保した環境で撮影を行った。図化範囲は 311m²であった。表 2 に、計測精度を示す。

表 2 UAV-DSM (1s) の計測精度

	X (m)	Y (m)	Z (m)	Error (m)
標準偏差	0.169	0.201	0.096	0.280

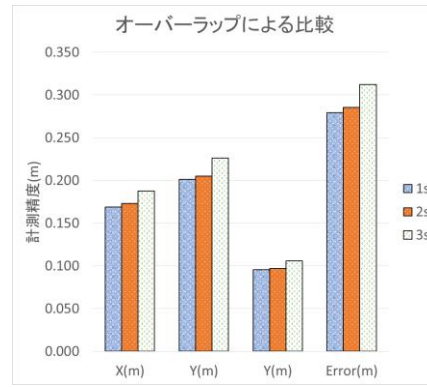


図 4 インターバル撮影間隔による精度比較

(3) 撮影高度の精度への影響

本検証は、比較を行うために DP2 に設置した P6000 のみの撮影画像を使用し UAV-DSM 測量を行う予定であった。しかし、検証実験中に DP2 が高度 30m 付近において飛行が突然不安定になったため飛行を中止した。そのため、検証結果にある高度 150m の実験データに関しては、eBee による自律飛行モードにより撮影 (IXUS127) により UAV-DSM 測量を行った。よって、本検証では、UAV に普通角レンズデジタルカメラを設置し、飛行高度を変化させた検証実験結果を記載する。また、本章で記載する UAV-DEM は計測範囲によるものではなく、手動により、精度検証エリアである、階段部分に限定した UAV-DSM を構築している。図 5 には、撮影高度約 10m から撮影したステレオ画像を使用し構築した UAV-DSM を示す。

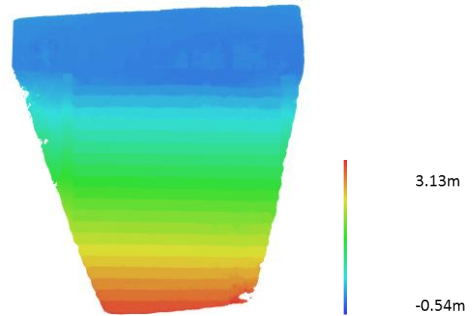


図 5 UAV-DSM (10m)

表 3 UAV-DSM (10m) の計測精度

	X (m)	Y (m)	Z (m)	Error (m)
標準偏差	0.090	0.149	0.076	0.190

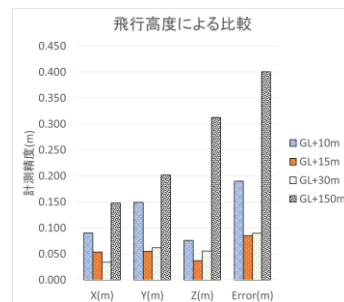


図 6 撮影高度による比較結果

(4) 標高モデルの評価

本研究で開発した手法により標高モデルを作成し、内水洪水のシミュレーションに利用できる精度であるかを評価した。評価の結果、高度 150m からの撮影でも 8cm 以下の精度で標高モデルを作成することができた。この精度は内水洪水のシミュレーションに活用できる精度である。

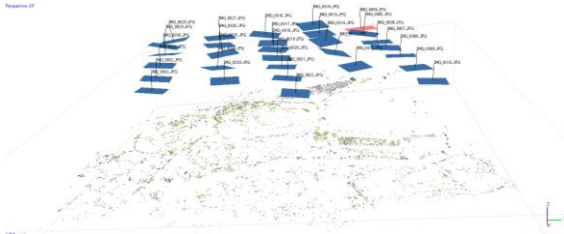


図7 撮影位置の推定(点群モデル)



図8 GCPの追加(高密度点群モデル)



図9 天池自然学園のオルソモザイク画像

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ①. Tran Thi Viet Nga and Kensuke Fukushi, Quantifying the Health Risks from Pathogens in the, Flood Water in Metro Manila, in The Environments of the Poor in Southeast Asia, East Asia and the Pacific, Eds. Ananta et al., 2013, ISEAS Publishing, Singapore

[学会発表] (計 8 件)

- ①. Mitsuharu Tokunaga, Accuracy Verification of DSM Obtained from UAV

using Commercial Software, IEEE 2015 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2015 (ミラノ, イタリア)

- ②. 小阪卓也, 徳永光晴, 小型UAVによるデジタル表層モデルの評価、第23回生研フォーラム論文集、2015
- ③. Takuya Kosaka, Mitsuharu Tokunaga, Visual Verification of Civil Engineering Structures by UAV, Proc. of The 35th Asian Conference on Remote Sensing, 2014 (ネピドー, ミャンマー)
- ④. 小阪卓也, 徳永光晴, 小型 UAV を用いた DEM の精度検証、日本写真測量学会平成 26 年度秋季学術講演会発表論文集、pp. 1-2, 2014
- ⑤. 小阪卓也, 徳永光晴, UAVを利用した土木構造物の視認、日本写真測量学会平成 26 年度年次学術講演会発表論文集、pp. 125-126, 2014
- ⑥. Takuya Kosaka, Mitsuharu Tokunaga, A SIMULATION OF CREATION DIGITAL ELEVATION MODEL FOR INLAND FLOOD BY UAV, Proc. of The 34th Asian Conference on Remote Sensing, 2013 (バリ, インドネシア)
- ⑦. 小阪卓也, 徳永光晴, 写真測量におけるタイポイントの設置個数による精度変化、日本写真測量学会平成 25 年度秋季学術講演会発表論文集、pp. 109-112, 2013
- ⑧. 小阪卓也, 徳永光晴, 低高度リモートセンシングによる基準点設置個数による精度変化、G空間EXPO学生フォーラム, デジタル媒体, 2013

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://kitnet.jp/laboratories/labo0144/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

徳永 光晴 (TOKUNAGA, Mitsuharu)
金沢工業大学・環境・建築学部・教授
研究者番号：00301135

(2) 研究分担者

福士 謙介 (FUKUSHI, Kensuke)
東京大学・国際高等研究所・教授
研究者番号：30282114