

# 鳥取砂丘における UAV を用いた三次元モデルの作成・精度評価と砂移動の解析

## Three-dimensional modeling, accuracy evaluation and sand movement analysis of the Tottori Sand Dunes using UAV

○齊藤忠臣\*・高原慶貴\*\*・関 栄司\*\*\*・河合隆行\*\*\*\*・永松 大\*・猪迫耕二\*

○Tadaomi Saito\*, Yoshiki Takahara\*\*, Eiji Seki\*\*\*, Takayuki Kawai\*\*\*\*, Dai Nagamatsu\* and Koji Inosako\*

### 1. はじめに

UAV は、低価格かつ操作が簡易的で、高解像度の写真を撮影できるツールとして浸透している。また、近年 SfM ソフトウェアを用いて、撮影した画像から三次元モデルを作成する手法が発達してきた。一方で、本研究の対象である鳥取砂丘は、砂の移動や植生の繁茂に伴い刻々と姿を変えるため、各種学術調査や環境保全の観点から測量や環境モニタリングが望まれており、これには UAV を用いて作成される三次元モデルの活用が効果的であると考えられている。本研究では、複数の UAV および SfM ソフトウェアを用いて砂丘全域の三次元モデルを作成しその精度評価を行うとともに、モデルから生成した DSM (Digital Surface Model) を用いて砂丘における砂移動を解析することを目的とした。

### 2. 研究方法

**2.1 UAV を用いた空中写真の撮影と SfM ソフトウェアによる三次元モデルの作成：**本要旨では、2016～2018 年に 3 種の UAV (Phantom3 Professional, Phantom4, Inspire2, いずれも DJI 社) を用いて撮影した画像より作成した三次元モデルの結果について述べる。撮影領域は鳥取砂丘全域とし、撮影日および使用した UAV については表 1 の通りである。撮影条件は高度 100 m, オーバーラップは 80%, サイドラップは 60%とした。本研究では、SfM ソフトウェアとして (PhotoScan Professional (Agisoft 社) と、Pix4Dmapper (Pix4D 社) を使用し三次元モデルを作成した。また、砂丘内の調査杭の位置情報 (X, Y, Z) をトータルステーション(TS)により測量し、モデルを校正するために使用する GCP (Ground Control Points) および、精度評価に用いる検証点として使用した。なお、標高 (Z) については、毎月実施される調査杭の砂移動調査の結果を用いて適宜補正した。

### 2.2 精度評価と砂移動の解析の手法：

本研究では各調査杭の標高 (Z) を精度の評価対象とした。作成した各モデルについて、TS で測量した標高データを真値、三次元モデルの標高データを推定値とし、RMSE (Root Mean Square Error) を用いて精度を評価した。また、誤差の発生要因と空間分布を検討するため、砂丘全域の標高誤差の分布図を作成した。さらに、撮影日毎に精度良いモデルから DSM を抽出し、その差分から砂移動の解析を行った。

表 1 撮影条件およびモデル作成条件と RMSE  
Photographic and modeling conditions and RMSE

撮影日	使用機体	使用ソフト	GCP数	RMSE	名称
2016年 8月10日	Phantom3 Professional	PhotoScan	67	0.63 m	P3-S-08
		Pix4D	67	0.42 m	P3-X-08
2018年 9月18日	Phantom4	PhotoScan	93	1.59 m	P4-S-09
		Pix4D	93	0.28 m	P4-X-09
2018年 11月15日	Phantom4	PhotoScan	93	2.99 m	P4-S-11
		Pix4D	93	0.35 m	P4-X-11
2018年 12月11日	Phantom4	PhotoScan	89	1.45 m	P4-S-12
		Pix4D	89	0.46 m	P4-X-12
2018年 12月21日	Inspire2	PhotoScan	94	2.03 m	I2-S-12
		Pix4D	94	0.40 m	I2-X-12

\*鳥取大学農学部, Faculty of Agriculture, Tottori Univ., \*\*東京都庁, Tokyo Metropolitan Govern., \*\*\*建設技術インターナショナル CTI Engineering International, \*\*\*\*鳥取大学乾燥地研究センター, Arid Land Research Center, Tottori Univ.

キーワード ドローン, 空中写真測量, SfM ソフトウェア, DSM (Digital Surface Model)

### 3. 結果・考察

3.1 精度評価：作成した三次元モデルの RMSE を表 1 に示す. 表 1 より, Pix4D により作成した全ての三次元モデルの RMSE は 0.5 m 未満であったのに対し, PhotoScan により作成した三次元モデルの RMSE は 0.5 m 以上となり精度が悪かった. 図 1 に, 12 月 21 日における両ソフトウェアで作成したモデル (I2-S-12, I2-X-12) の標高誤差の分布図を示す. PhotoScan で作成した図 1a のモデルは, 標高を中央で過大評価, 周辺で過小評価しており, モデルが凸状に歪んでいることが分かる. このようなモデルが凹凸に歪む傾向は, PhotoScan で作成した他のモデルにおいても見られた. 一方で, 図 1b の Pix4D の誤差にはこのような傾向は見られず, 誤差が比較的均一に分布していることが分かった. また, 表 1 より, 撮影に用いた 3 種の UAV

(P3, P4, I2) 間の精度を比較すると, I2 の搭載カメラの解像度が他よりも高かったにもかかわらず, 明確な差や傾向は見られなかった.

3.2 砂移動の解析：図 2 に 2016 年 8 月 10 日 (P3-S-08) と 2018 年 12 月 21 日 (I2-X-12) の DSM の差分を示す. 砂丘内の大きな窪地である追後スリバチと合せ谷スリバチの部分では, 表示が赤くなっており, ここ 2 年半で砂が積もり, 窪みが埋まってきていると考えられる. また, 第二砂丘列 (馬の背) においては, 砂丘列の稜線の海側では表示が青く, 砂が減少しており, 内陸側では赤く, 砂が増加していることが分かる. このことから, 馬の背の稜線が海側から内陸側に移動していることが分かる. 同年内の 2018 年 9 月 18 日 (P4-X-09) と 12 月 21 日 (I2-X-12) の DSM の差分においても, 馬の背の稜線が

海側から内陸側に移動する傾向が見られた. このように DSM の差分から馬の背の稜線の移動を捉えることができたが, 馬の背の海側の地点には調査杭が無く, GCP を設置している地点が少ないため, 絶対的な精度の保証ができない状況にある. より高精度かつ定量的な解析のため, 今後は調査杭を用いない GCP の設置法を検討する必要があると考えられる.

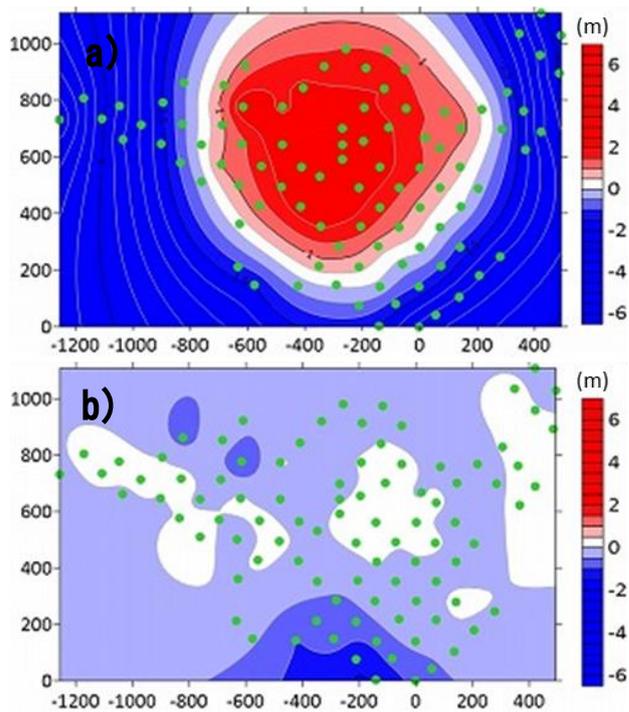


図 1 標高誤差の分布図  
(a : I2-S-12, b: I2-X-12)  
Distribution map of the elevation error

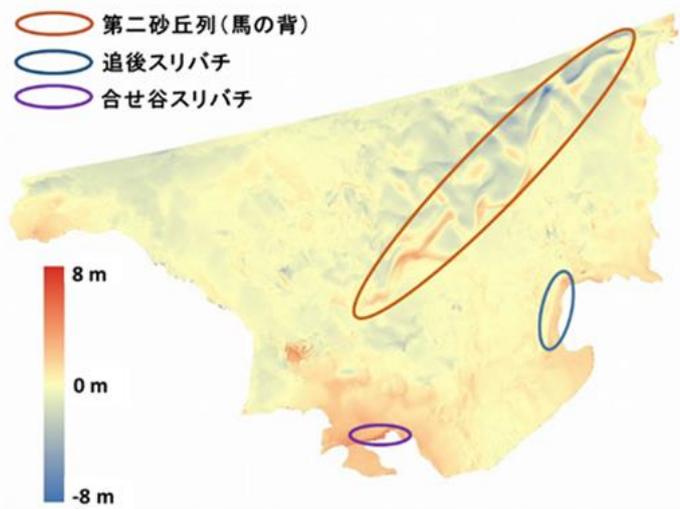


図 2 2016 年 8 月から 2018 年 12 月における DSM の差分による標高変化  
Elevation change from Aug 2016 to Des 2019  
calculated from DMS difference