

# 小型 UAV と地中レーダーを用いた砂丘の広域地下水分布の推定

## Estimation of large-scale ground water distribution using small UAV and ground penetrating radar in sand dunes

○齊藤忠臣\*, 西本貴之\*\*, 河合隆行\*\*\*, 猪迫耕二\*, 安田 裕\*\*\*

○Tadaomi Saito\*, Takayuki Nishimoto\*\*, Takayuki Kawai\*\*\*, Koji Inosako\* and Hiroshi Yasuda\*\*\*

### 1. はじめに

鳥取砂丘は山陰海岸に広がる日本最大級の海岸砂丘である。この砂丘内にはオアシスが存在し、年間で発生・消滅を繰り返している。このオアシスが如何なる水を水源とし、どのようなメカニズムで発生消滅を繰り返しているのかは古くからの学術的関心事であり、これらの謎を解明するための研究が 2010 年より行われてきた。この研究の一環として本研究では、近年急速に注目されつつある小型 UAV を用いた航空写真測量と、地中レーダー (GPR) 探査を組みわせることにより、砂丘広域における地下水分布の推定を試みた。

### 2. 研究方法

**2.1 小型 UAV を用いた航空写真測量:** 後述する GPR 探査の結果において、推定された地下水面の標高を知るためには地表面の標高データが必要となる。2014 年度まではトータルステーション (TS) を用いた地形測量を実施していたが、より広域の測量を行うため 2015 年 11 月に小型 UAV (PHANTOM3 PROFESSIONAL, DJI 社) を用いた写真測量を行った。小型 UAV を上空約 70 m の高さまで飛行させ、鉛直方向に写真撮影を行った。撮影した 1146 枚の写真から、PhotoScan Professional (Agisoft 社) を用いて DEM データとオルソ画像を作成した。DEM データ作成の際に使用した GCP (Ground Control Points) は 2014 年に測量した砂丘内にある調査杭のデータを使用した。作成した DEM データから Surfer (Ver.9 Golden software) を用いて等高線図を作成した (図 1)。小型 UAV を用いた写真測量と同時期に、TS を用いた地形測量を行い、図 1 に示す K11-K12 ラインにおいて写真測量の精度を検証した。

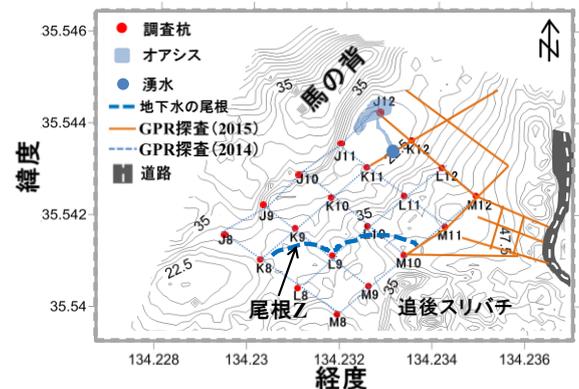


図 1 GPR 探査箇所  
Survey area for GPR

**2.2 GPR 探査を用いた地下水分布調査:** GPR 探査はアンテナから発せられた電磁波が地中の誘電率の変化する箇所では反射し、その反射波がアンテナに戻るまでの時間から、地下構造や異常物までの深度を推定する探査手法である。2014 年度に砂丘内の 400 m×300 m の範囲において GPR 探査を行った結果、地下水の尾根 (図 1 の Z) を発見した。2015 年度の調査では、さらに調査範囲を広げ、鳥取砂丘南側の地下水の尾根 Z の延長を推定することを目的として調査を行った (図 1)。GPR の解析結果を用いて地表面から地下水面までの深さを推定し、測量データと組み合わせることで砂丘内の広域地下水位分布図を作成した。

\*鳥取大学農学部, Faculty of Agriculture, Tottori Univ., \*\*鳥取大学大学院農学研究科, Graduate School of Agriculture, Tottori Univ., \*\*\*鳥取大学乾燥地研究センター, Arid Land Research Center, Tottori Univ.,  
キーワード 航空写真測量, 地下水探査, UAV, GPR

### 3. 結果・考察

3.1 小型 UAV を用いた写真測量および精度検証：図 2 に写真測量と TS での地表面の測量結果の比較を示す。図より小型 UAV による写真測量の結果は、地形の相対的な変化を十分に捉えているものの、最大で約 1 m 標高が高くなっていた。この誤差は、写真測量の解析時に用いた 2014 年度の調査杭の GCP データが、2015 年度の測量結果に比べて 0.8 m ほど標高が高かったためと考えられる。一方で、地中レーダーから読み取ることのできる地下水面までの深度には、1 ～2 m 程度の測定誤差が含まれる。そのため、0.8 m の誤差は許容範囲であると判断し、写真測量の結果を用いて地下水面の深さの推定を行った。

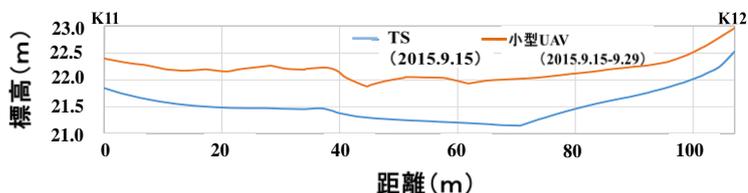


図 2 TS と UAV の測量結果の比較  
Comparison of measurement results between TS and UAV

3.2 GPR 探査を用いた地下水分布：2014 年度と 2015 年度に実施した同一測線における GPR 結果を比較したところ、2015 年度の推定地下水面の標高は、2014 年度のものと同じであった。そこで、2015 年度のすべての測線で地下水位標高の読み取りを行い、2014 年度の地下水位分布図と組み合わせた。その結果をもとに、3 次元の地下水位標高図を作成した（図 3）。図 3 から、地下水の尾根 Z が明確になり、尾根より北側の地下水がオアシスに向かって流れていることが分かった。また、小規模な地下水盆がオアシス南側にあることも分かり、この付近の地下水は地下水盆に集中した後に、最終的にオアシスに向かって流れているのではないかと考えられる（図 3）。水文観測や水の安定同位体比分析の結果より、オアシス付近の湧水の水には降水の長期的影響がある事が明らかとなっているが（齊藤ら，2016）、これはこの地下水盆に降水が貯留されることが一因と考えられる。今後は、これらの結果を利用した水移動解析・数値計算等を行うことにより、砂丘内に降った雨がオアシス形成にどのような影響を及ぼすかを解明できるものと期待される。

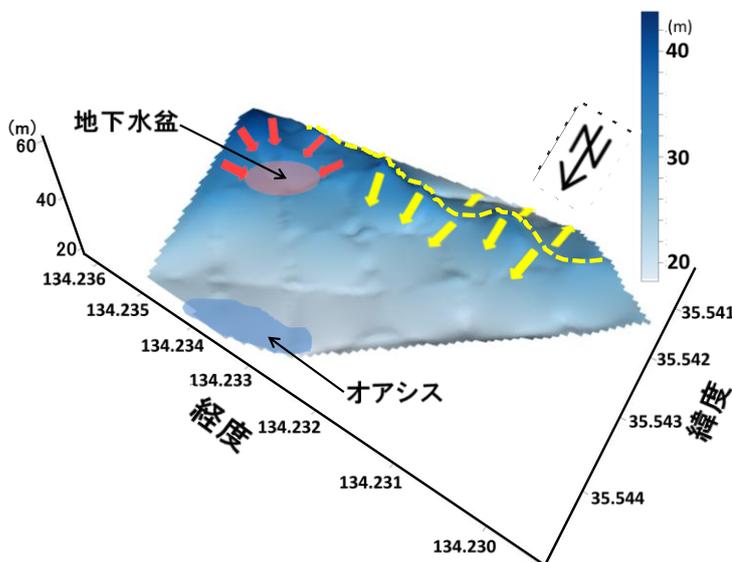


図 3 鳥取砂丘の地下水の 3 次元分布  
Three-dimensional distribution of ground water  
in the Tottori Sand dunes

### 4. 結論

小型 UAV を用いた航空写真測量により、砂丘面における地形測量を十分な精度で行う事が出来た。また、これを利用した GPR 探査より、鳥取砂丘の広域地下水分布が解明された。引用文献：齊藤忠臣・河合隆行・西本貴之・笹津杏奈・糟谷哲史・猪迫耕二・安田裕・塩崎一郎：鳥取砂丘におけるオアシス・地下水の水源と地下水分布。応用水文，28：51-60