

カルスト台地地表地形と沿岸域の陥没ドリーネの 3次元モデル作成を目的としたドローン写真測量の検討*

眞部 広紀**1, 堀江 潔**1, 岡本 渉**2, 大浦 龍二**1

Study on Drone Photogrammetry for 3D Modeling of Karst plateau Surface Terrain and Coastal Collapse Dolines

Hiroki MANABE**1, Kiyoshi HORIE**1, Wataru OKAMOTO**2, Ryuji OHURA**1

Key words: Coastal Karst Landform, Submerged Collapse Doline 3D Modeling, Drone Photogrammetry

Abstracts

In this paper, we discuss drone photogrammetry for 3D models of coastal karst landform and collapse dolines.

1. はじめに

近年、ドローンによる近接センシングの発達により、地表の詳細な情報（形状・構造物等）が簡便に得られるようになった。洞窟の形状計測をコアテーマの一つとする本研究ネットワーク『洞窟計測探査シミュレーションプログラム』では、ドローン（画像 1）の SfM/MVS 写真測量によるカルスト地表地形の 3D モデル化を試行的に実施してきた。本稿では、台地カルスト（山口県秋吉台と福岡県平尾台）において実施したドローン写真測量による 3D モデル（Agisoft 社 Metashape（旧 PhotoScan）使用）を紹介する。また、今後のプロジェクトを沿岸域カルストに拡大して展開するため、大規模遺跡の写真測量の実績をもとに実行可能性について検討する。



画像 1 ドローン例（DJI 社 Phantom4Pro）

2. 秋吉台

山口県美祢市秋吉台の東側エリア（狭義の秋吉台、以下、「秋吉台」と記す）では、年 1 回 2 月頃に「山焼き」（画像 2）が行われるため、地表の地形が写真測量しやすい（画像 3,4）。



画像 2 秋吉台「山焼き」

* 原稿受付 令和 2 年 9 月 7 日

**1 佐世保工業高等専門学校 基幹教育科

**2 名古屋大学 全学技術センター



画像 3 ドリーネ群 (ドローン撮影)



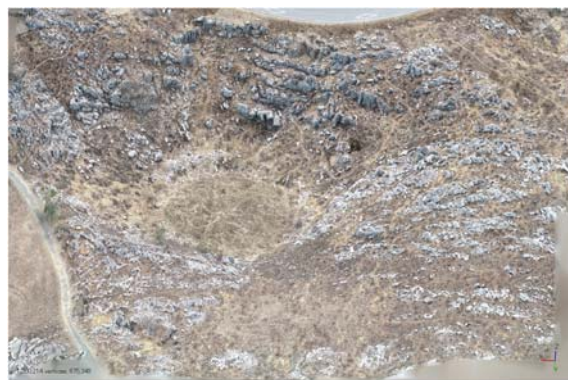
画像 4 「若竹山」「妙見原」と
ドリーネ「ナガジャクリ」「鬼ノ穴」
(3 Dモデル)

2.1 「恵藤穴」のドリーネ

竪穴洞窟「恵藤穴」は「秋吉台」南にある秋吉台科学博物館の北側ドリーネ (画像 5) の斜面に開口する。「恵藤穴」の周辺地形の基盤資料として、ドリーネに対してドローン写真測量をおこない 3D モデルを作成した (画像 6)。また、本研究ネットワークの松江工業高等専門学校電子制御工学科久間英樹教授研究室のチームは、「恵藤穴」に対してドローン搭載のレーザースキャナ装置によるレーザー測定実験を実施して 3D 点群モデルを作成している。



画像 5 「恵藤穴」のドリーネ (ドローン撮影)



画像 6 「恵藤穴」のドリーネ (3 Dモデル)

2.2 「白水の池」の周辺地形

山口県美祢市秋芳町別府の「白水の池」は、「秋吉台」の西を流れる白水川（青景川支流）の水源である（画像 7）。池の北西に開口する「白水の池の穴」の水中洞窟において、本研究ネットワークの日本文理大学工学部機械電気工学科稲川直裕教授の研究室チームが ROV 探査実験を実施している。池北西の山向こうには「寺山の穴」「門前の穴」が開口する。「白水の池の穴」との地下水文系研究の基盤資料として、池周辺地形のドローン写真測量実験を試行し、3D モデルを作成した（画像 8,9）。



画像 7 「白水の池」
上：全景（空中撮影）、下：全景



画像 8 「白水の池」周辺地形（近辺 3D モデル）

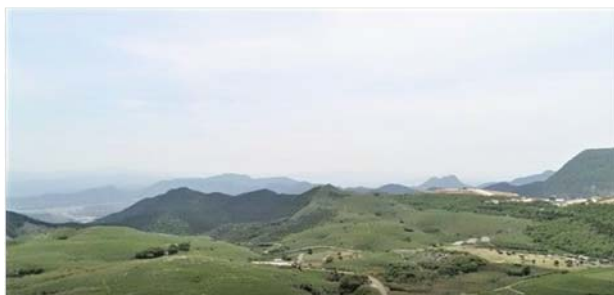
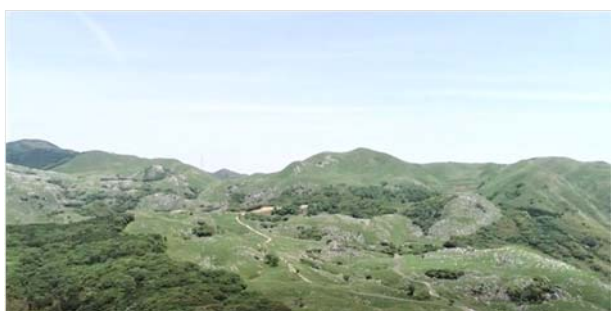


画像 9 「白水の池」周辺地形（広域 3D モデル）

3. 平尾台

福岡県北九州市と苅田町に跨がる平尾台は、東側のエリアが国定公園に指定されている。東側のエリア（以下、「平尾台」と記す）では、年 1 回 2 月頃に「野焼き」が行われるため、地表の地形が写真測量しやすい（画像 10）。今回の測量範囲は、本研究ネットワークが実験・調査を行っている豎穴洞窟「牡鹿洞」

（ROV 探査、UAV レーザー測定、UGV レーザー測定、UAV 深度画像測定）と「虚無僧穴」（UAV 写真測量、UAV レーザー測定、UAV 画像測定）を結ぶエリアに設定した。「牡鹿洞」と「虚無僧穴」の地下水文系研究の基盤資料として、ドローン写真測量実験を試行し、3D モデルを作成した（画像 11）。



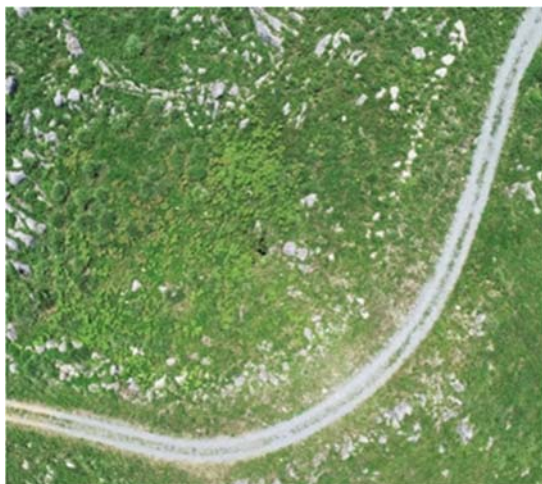
画像 10 平尾台（「牡鹿洞」上空からドローン撮影）



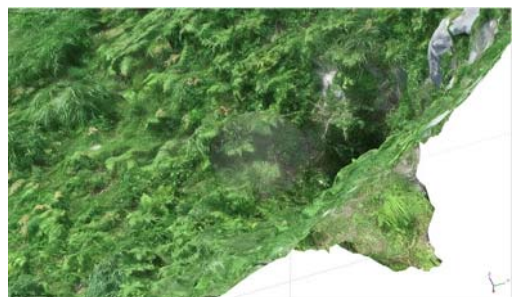
画像 11 「平尾台」(3D モデル)
（「牡鹿洞」から「虚無僧穴」までの間）

3.1 「虚無僧穴」

本研究ネットワークは「平尾台」の堅穴洞窟「虚無僧穴」(画像 12) のドローン写真測量を行い、3D モデルを作成した(画像 13)。また、ネットワークの松江工業高等専門学校電子制御工学科久間英樹教授の研究室はドローン搭載レーザースキャナ装置による「虚無僧穴」の測定実験を行い、3D 点群モデルを作成している。



画像 12 「虚無僧穴」
(上、中：ドローンカメラ撮影)

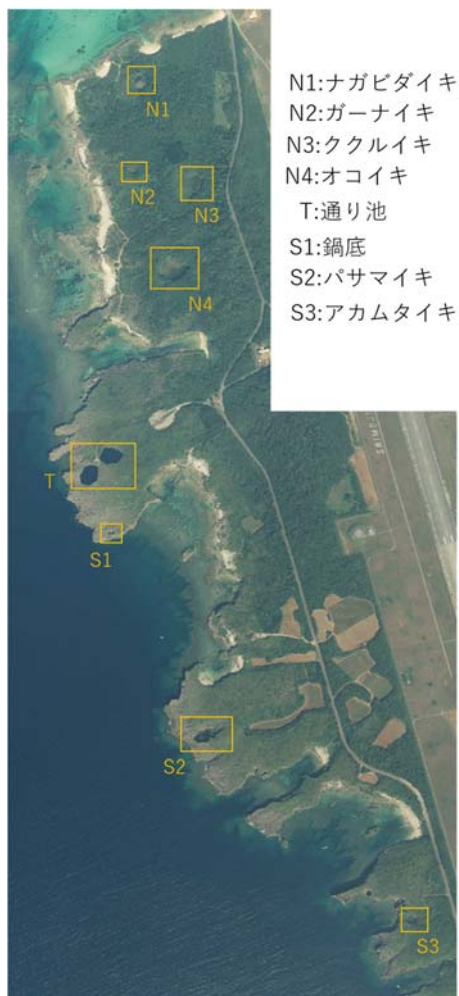


画像 13 「虚無僧穴」(3D モデル)

4. 沿岸域カルスト

台地カルストに続いて、本研究ネットワークでは沿岸域カルストの地表地形の 3D モデル作成を計画している。その準備のために、対象エリアの沖縄県宮古諸島下地島西沿岸域(画像 14) の予備調査を行い、ドローン写真測量に必要な条件を抽出した¹⁾。当該のエリア(画像 14) は高低差が少なく、海崖や陥没ドリーネの池を除けば、秋吉台(画像 3) や平尾台(画像 10)

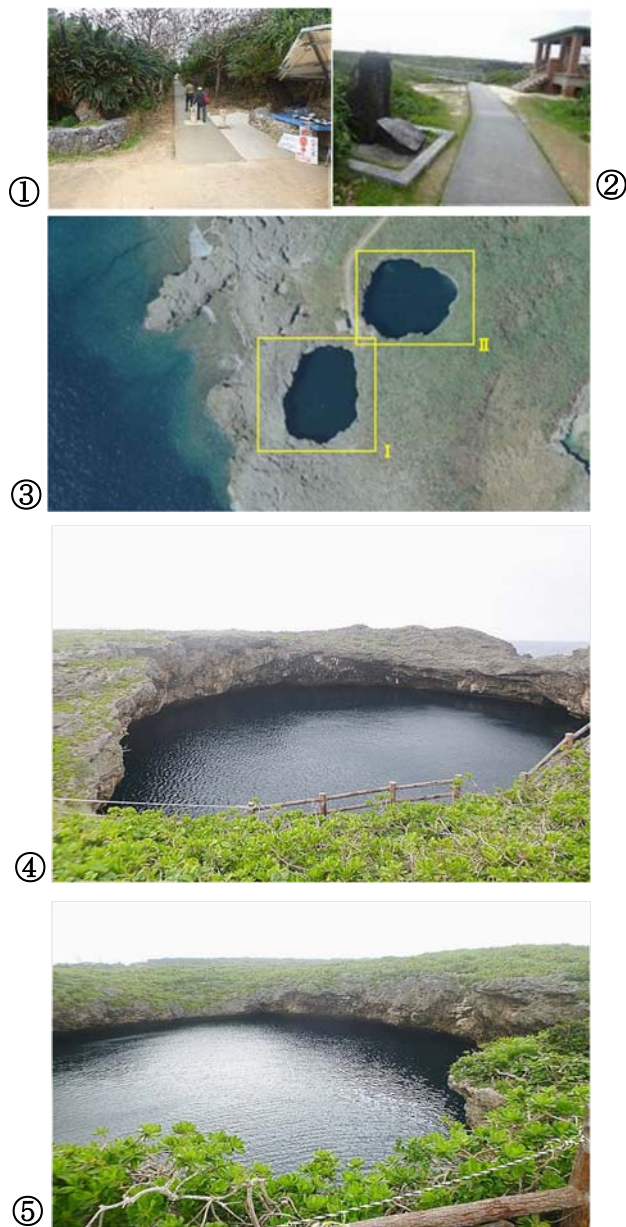
のような台地カルストよりも概ね平坦である。ドローンを一定高度で飛行させるには、障害は殆ど無いと考えられる。しかしながら、植生が繁茂している所では、見晴らしの良さが必要な HP（オペレータが位置する離発着ポイント）の選定は難しい。縦穴（竪穴とも記す）である陥没ドリーネのドローン写真測量を計画するために、アプローチルートと HP 候補場所を検討する。第 4.1 節～第 4.3 節は対象のすぐそばに HP を設定可能で、アプローチが容易な場所である。第 4.4 節の場所も対象のすぐそばに HP を設定可能であるが、アプローチにやや難がある。第 4.5 節は対象からやや離れた場所までしかアプローチできないので、そこを HP にした方が良い場所であり、第 4.6 節、第 4.7 節は現在のところ、アプローチルートが判明していない場所である。



画像 14 下地島西沿岸域（国土地理院空中写真 COK20181-C21-6 と C21-8 から抜粋・重畳・加筆）

4.1 「通り池」

駐車場から遊歩道を進むと、展望所がある「一の池」と「二の池」の間（陸橋部分）に着く（画像 15①～③）。ここは、低空撮影飛行させるドローンの機体を目視確認できる（画像 15④・⑤）位置にある。

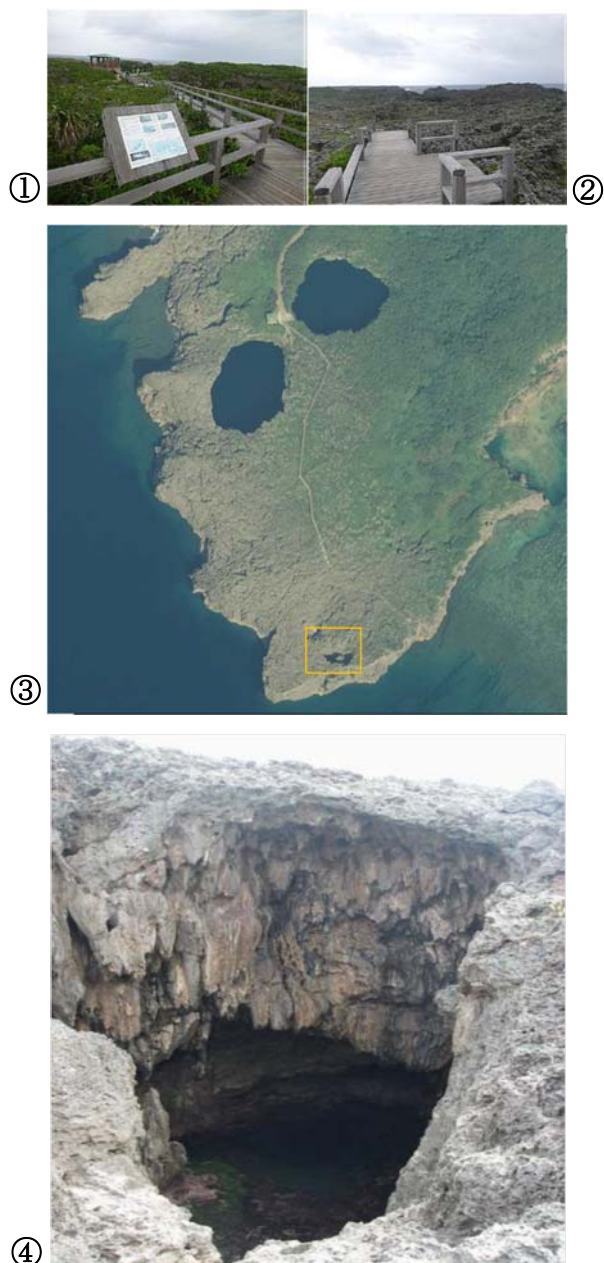


画像 15 ①：遊歩道入口
 ②：池の間（右が展望所）
 ③：遊歩道と木道
 ④：「一の池」、⑤：「二の池」

（国土地理院空中写真 OCK9411-C19A-2 から抜粋）

4.2 「鍋底」

池の間から木道を進み、その終端から岩場の上を南に進めば「鍋底」に着く（画像 16）。HP を「鍋底」の口縁部付近に設定すれば、低空飛行させるドローンの機体を目視確認できる。高度を上げて撮影する場合は、池の間または木道終端を HP としてドローンを「鍋底」上空に飛行撮影させることも可能である。



画像 16 ①：木道、②：木道の終端

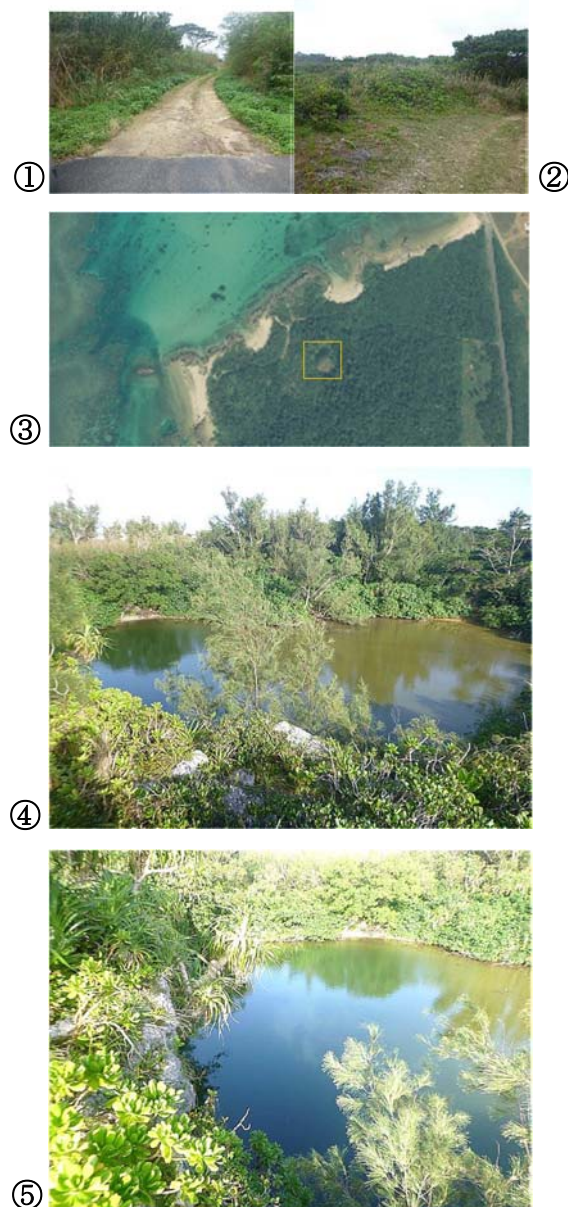
③：遊歩道と木道

（国土地理院空中写真 COK20181-C21-8 から抜粋・加筆）

④：「鍋底」

4.3 「ナガビダイキ」

北岸近くから未舗装道を西に進み、海岸に近づいてから南進すれば、「ナガビダイキ」西岸の高台入口に着く（画像 17）。HP を高台上に設定すれば、低空飛行させるドローンの機体を目視確認できる。高度を上げて撮影する場合は、高台入口付近を HP としてドローンを「ナガビダイキ」上空に飛行させて撮影することも可能である。池は高台の向こう側に位置するため、HP から池の水面は目視できない。



画像 17 ①：未舗装道入口、②：西岸高台入口

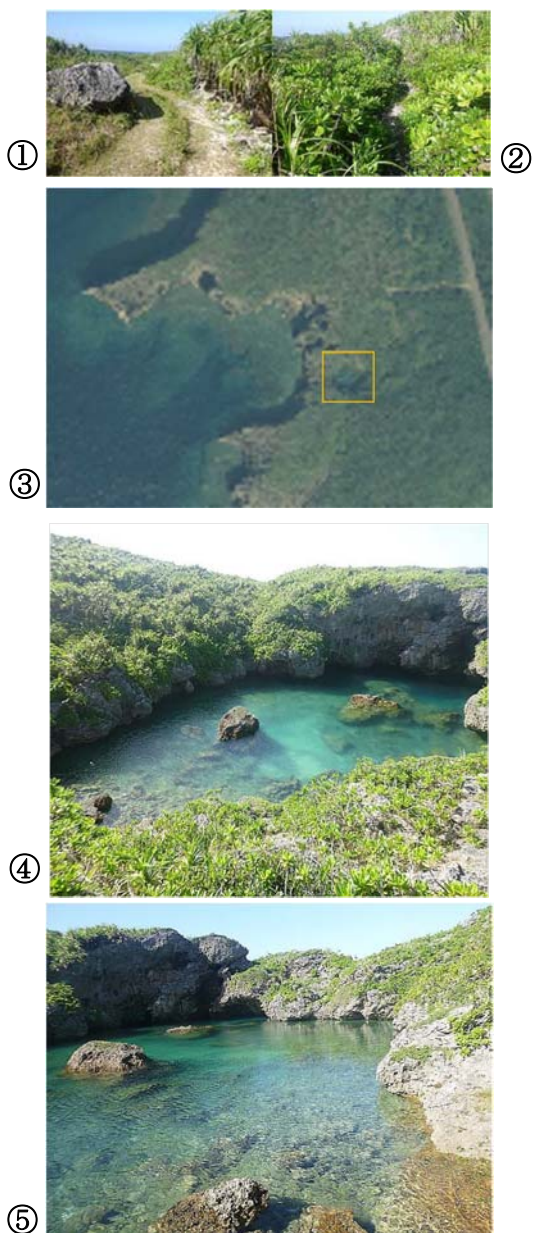
③：車道（舗装道）と未舗装道

（国土地理院空中写真 COK20181-C21-6 から抜粋）

④・⑤：「ナガビダイキ」

4.4 「アカムタイキ」

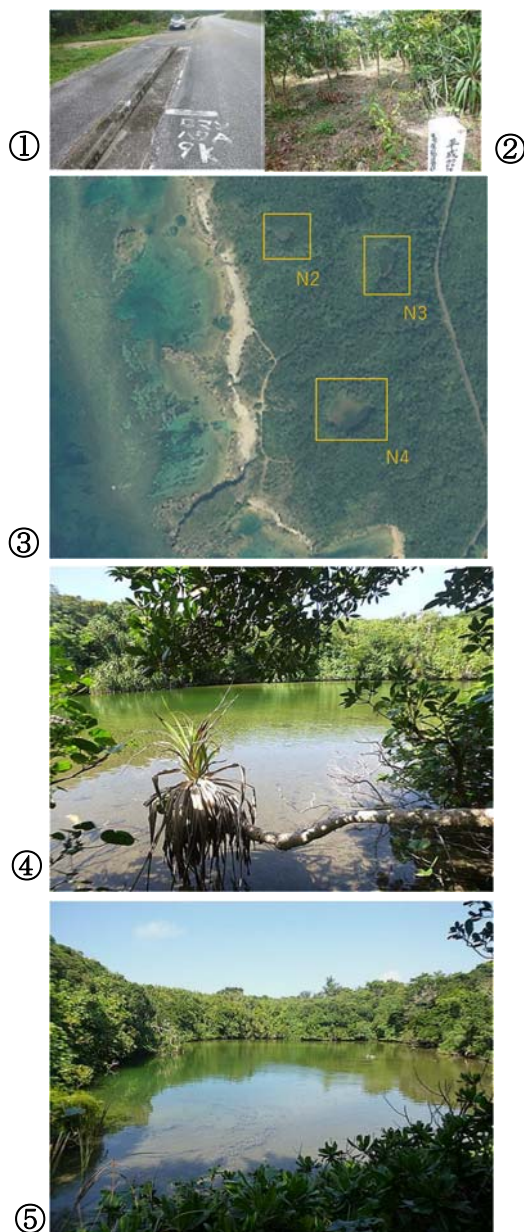
舗装道（車道）から未舗装道を西進して下り、途中で南進して終点から植生の中を通る踏み分け道を抜ければ「アカムタイキ」に着く（画像 18）。HP を池岸に設定すれば、低空飛行させるドローンの機体を目視確認できる。未舗装道入口と「アカムタイキ」水面は高低差があるため、未舗装道入口付近を HP として、ドローンを水平に移動飛行させて「アカムタイキ」上空から撮影することも可能である。



画像 18 ①：未舗装道、②：踏み分け道
③：舗装道と未舗装道
(国土地理院空中写真 COK20181-C21-8 から抜粋)
④・⑤：「アカムタイキ」

4.5 「ククルイキ」

舗装道（車道）から未舗装道を西進して、記念杭から林の中を北進して抜ければ「ククルイキ」の南岸に着く（画像 19）。「ククルイキ」の池岸は植生が多く平地が殆どないため、HP の設置には適さない。高度を上げて撮影する場合は、未舗装道入口か舗装道カーブ付近を HP として「ククルイキ」上空を撮影することは可能である。



画像 19 ①：未舗装道入口、②：記念杭の北側
③：「ガーナイキ」(N2)、「ククルイキ」(N3)、「オコイキ」(N4)
(国土地理院空中写真 COK20181-C21-6 から抜粋)
④：「ククルイキ」南東岸、⑤：「ククルイキ」南西岸

4.6 「ガーナイキ」「オコイキ」

「ククルイキ」のときと同じ未舗装道入口から西進して海岸から北進すると「ガーナイキ」西側の岩場付近に着くが、密集した植生に阻まれて池岸には到達できなかった。海岸から南進すると「オコイキ」の南西側に着くが、密集した植生に阻まれて池岸に到達できなかった。池岸の状態は両者とも未踏査であるが、高度を上げて撮影する場合は、海岸付近に HP を設置して「ガーナイキ」「オコイキ」を上空から撮影することは可能である。

4.7 「パサマイキ」

宮古島市史跡「帯岩」の南にある農道入口から耕作地の脇を通過して西端から「パサマイキ」を目指すルートを移動したが、密集した植生に阻まれて池岸に到達できなかった。池岸の状態は未踏査であるが、高度を上げて撮影する場合は、海岸付近に HP を設置して「パサマイキ」上空から撮影することは可能である。

4.8 海崖

当該エリアの北部は西に緩く傾斜していて、海岸は概ね砂浜になっている。エリアの南部は、一部のビーチを除いて急崖（急斜面、垂直壁、オーバーハング）になっている（画像 20）。



画像 20 南部エリアの海岸の例
（「アカムタイキ」の西）

5. 類似地形の写真測量・3D モデル

陥没ドリーネの壁面と海崖を併せれば、前節で述べた当該エリアは概ね「急斜面・垂直壁・オーバーハングに囲まれた」平坦地という地形であり、この条件がドローン写真測量を実施するときにネックになる。本研究ネットワークの「大規模遺跡調査部門」では、日本列島に点在するグスク、古代～中世山城、城柵、チャシのドローン写真測量・3D モデル化プロジェクトを始動した。その中で、沿岸域の「急斜面・垂直壁・オーバーハングに囲まれた」ケース（例：沖縄県糸満市「具志川城」（画像 21）²⁾、秋田県男鹿市「脇本城」（画像 22）³⁾、北海道斜里町「ウトロチャシ（チャシコツ岬上遺跡）」（画像 23）⁴⁾）についても、ドローン写真測量と 3D モデル化のノウハウを集積している。



画像 21 「具志川城」
上：ドローン撮影、 下：3D モデル



画像 22 「脇本城」
上：ドローン撮影、 下：3D モデル



画像 23 「ウトロチャシ」
上：ドローン撮影、 下：3D モデル

6. まとめ

第 4 節で紹介した「急斜面・垂直壁・オーバーハングに囲まれた」類似地形(大規模遺跡)における実績・ノウハウを活かすことにより、第 4 節で紹介した沿岸域カルスト(沖縄県宮古諸島下地島西沿岸域)のドローン写真測量・3D モデル化プロジェクトは充分実行可能である。今後は、宮古島市教育委員会と連携を進めて実施に向けて始動したい。

参考文献

- 1) 眞部広紀, 長嶋豊, 浦田健作, 山本祐二, 近藤正義, 岡本渉,
宮古諸島下地島の西沿岸域におけるアンキアライン陥没ドリネ群の予備調査
佐世保工業高等専門学校研究報告第 53 号
pp.5-13(2017)
- 2) 堀江潔, 岡本渉, 大浦龍二, 眞部広紀,
海食崖に立地するグスクのドローン写真測量と 3次元モデル作成の予備実験
—沖縄県糸満市具志川城—,
佐世保工業高等専門学校研究報告第 56 号,
pp.53-58(2020)
- 3) 堀江潔, 岡本渉, 大浦龍二, 眞部広紀,
秋田県男鹿市脇本城のドローン写真測量と 3次元モデル作成の予備実験,
佐世保工業高等専門学校研究報告第 56 号,
pp.41-46(2020)
- 4) 堀江潔, 岡本渉, 大浦龍二, 眞部広紀,
北海道斜里町ウトロチャシ(チャシコツ岬上遺跡)のドローン写真測量と 3次元モデル作成の予備実験,
佐世保工業高等専門学校研究報告第 56 号,
pp.13-19(2020)