

登頂禁止の「天空の城」利神城の ドローン写真測量と3次元モデル作成の予備実験*

堀江 潔**, 岡本 渉***, 大浦 龍二**, 眞部 広紀**

Preliminary Experiment for Drone Photogrammetry and 3D Modeling of Rikan Castle, No Mountain Climbing “Castle in the sky”

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

1. はじめに

本研究グループは、北海道から南西諸島に広がる約3,000 kmの日本列島各地に通時代的に広がる、山城を中心とする防禦機能を備えた大規模遺跡を研究対象とする。ドローン空中撮影を実施して取得した写真測量画像を SfM/MVS ソフトウェア処理して3次元モデルを構築し、各施設の構造比較と防禦機能のシミュレーションを行うという文理融合型の研究に取り組んでいる。将来的には研究者や一般市民が利用可能な3次元モデルのアーカイブ化を予定している¹⁾。

堀江は、文献史学の立場から西北九州から瀬戸内海沿岸地域に分布する古代山城(さんじょう)の研究を進めてきた²⁾。古代山城の中でも、長崎県対馬市に所在し、国境最前線に建造された金田城は、切り立った崖上にまで石垣を積み上げており、建造のための土木作業が極めて困難であったと容易に想像がつくものである(図1)。古代国家の防衛体制にとって極めて重要な位置を占める、金田城の構造分析や防禦機能の特



図1 対馬・金田城山頂部の石垣
(ドローン空中撮影。撮影:岡本渉)

質を解明するための重要な研究方法の一つとして、同じような立地にある中世・近世の山城、北海道のチャシ、沖縄県のグスクなどとの比較研究を挙げることができる。



図2 利神城遠望
(道の駅宿場町ひらふくの裏手より)

2019年10月、上記の研究目的に基づき、対馬の金田城と同様の、切り立った山上に聳える“天空の城”利神城(兵庫県佐用町に所在する近世山城、図2参照)のドローン空中撮影を実施した(図3~5。ドローン操縦・空中撮影:岡本)。本報告は、SfM/MVS ソフトウェアを用いて3次元モデルを実験的に作成したことにつき、簡易的に報告を行う³⁾。

利神城は、東・西・北の三方が断崖に近い急坂で、かつては南側から登頂を目指したが⁴⁾、登山道の荒廃と石垣の整備のため、現在登頂禁止となっている(佐用町公式ホームページ、<https://www.town.sayo.lg.jp>参照)。このように、転落事故や遺跡破壊を防ぐため直接人間が踏査できない場所にある遺跡こそ、ドローンを活用した調査が大きな貢献を果たす。ドローンなら、実際に登頂して見学するよりも美しい、フォトジェニ

* 原稿受付 令和2年1月20日

** 佐世保工業高等専門学校 一般科目

*** 名古屋大学 全学技術センター



図3 山頂部の石垣1(ドローン空中撮影)



図4 山頂部の石垣2(ドローン空中撮影)
(右上の町並みは宿場町平福)



図5 山頂部の石垣3(ドローン空中撮影)

ックな動画、写真を入手することができる(図3~5)。これらを有効に活用すれば、転落事故や遺跡破壊の心配なく、十分に満足できる動画や写真の見学によって利神城の観光リソースとしての価値を高めることが出来、今後の地域振興につなげることも可能である。

2. 利神城の概略

利神城は、兵庫県の南西部、岡山県に接する位置にある佐用町平福の標高 373.3m の利神山山頂に所在する近世山城である。2017年に国指定史跡となっている。「雲突城」とも呼ばれ、兵庫県朝来市の竹田城

と同じく、「天空の城」として観光客・登山客に人気を博したが、現在は荒廃している登山道や石垣の整備のため登山禁止となっている(佐用町公式ホームページ <https://www.town.sayo.lg.jp> 参照)。

南北朝時代の1344年、守護大名赤松氏の支流・別所敦範が、赤松氏の居城・白旗城の北の守りとして築いたのが利神城の始まりである。現在の遺構は、1600年の関ヶ原の戦い後、論功により播磨に所領を得た池田輝政が、1601年に甥の由之に守備を命じ、由之が5年の歳月をかけて改造したもので、三層の天守を持つ城郭であった。偉容を誇る利神城を見た池田輝政は、破却を命じ、由之を退去させたほどであったとされる⁵⁾。1631年に池田輝興が赤穂に移って平福藩が廃藩となり、利神城も廃城となった。

利神城の築城開始は関ヶ原の戦い直後で、まだこの戦いに勝利した徳川家康の征夷大將軍就任(1603年)の前である。当時の政治情勢としては、徳川氏の権力永続は予想されていないばかりか、四国の大名・長宗我部盛親のように所領を失い次なる戦争での功名をうかがう牢人や、身を捨てても豊臣秀吉の恩顧に報いようとする豊太閤派も残っていた⁶⁾。1605年に家康が秀忠に將軍職を譲り、徳川氏の政権継続が明白となった後も、1614-15年の大坂の陣で豊臣秀頼を滅ぼすまでは軍事緊張が継続した。姫路城を居城とする池田輝政にとって、この地は美作との国境防衛の要地⁷⁾、出雲街道・因幡街道の要衝の地・平福を押さえる利神山に聳える利神城は、その緊張感の中で、防禦機能を十分に意識して改造された近世山城と評価できるのである。

3. ドローン空中撮影

眞部・岡本の協力のもと、ドローン空中撮影の計画を立てた。草木の勢いが弱まる10月上旬に撮影日を予定した。当日は好天で、降雨の心配をすることなくドローン空中撮影を実施することができた。

まず適切なHP(ホームポイント。ドローンの離発着点)を定めるため、利神城の麓に広がる平福の町並み中の空き地や、南北に流れる佐用川近隣を探したが、利神城に近過ぎ、適切な場所を見つけることができなかった。結局、ドローン飛行ルートの見通しを得るため、利神城から距離をとり、平福の町並みの西端の山沿いにある「道の駅宿場町ひらふく」の裏にHPを



図6 HPと2機のドローン



図7 ドローン離陸(Phantom4ProPlusV2.0)

定めた(図6)。

飛行中はドローンの状態, ルート周辺を飛行するヘリコプターや猛禽類の動き, 雨雲や風の変化等を注意深く監視する必要があるが, この日は天気も良く, 航空機や猛禽類も全く見あたらず, 安心して飛行を見守ることができた。

まず最初に, DJI 社の Mavic2Pro を飛ばし, 利神城の高度や, 城の背後にある高さのある山や建造物の有無, 風の強さ等を確認した。次に, DJI 社 Phantom4ProPlusV2.0 を用いて, 写真測量画像の撮影を開始した(図7)。

写真測量画像の撮影は, 飛行前にフライトマップを作成し, 自動飛行で行った。まず最初に, 広大な利神城の全域を撮影するため, 計測撮影・領域モード(図8, 撮影範囲を決め, 一定の間隔を空けた直線的に飛行するルートを決め, 真上から写真測量画像を撮影する。以下「領域モード」と表記する)での自動飛行による空中撮影を実施した。その後, 立派な石垣が残る天守台を中心とする山頂部の精密な3次元モデルをつくることを目的に, 計測撮影・建物モード(図9, 撮影対象の周囲を円を描きながら飛行し, 斜め上の角度から

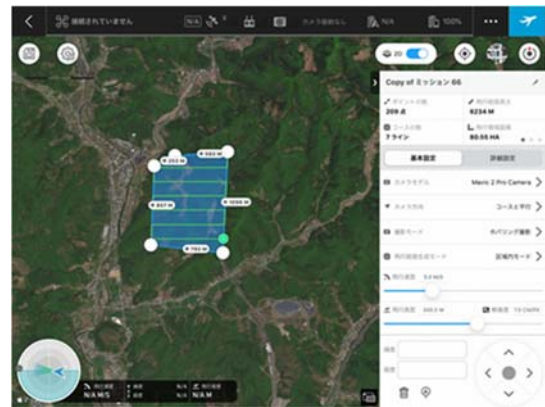


図8 フライトマップ(領域モード)

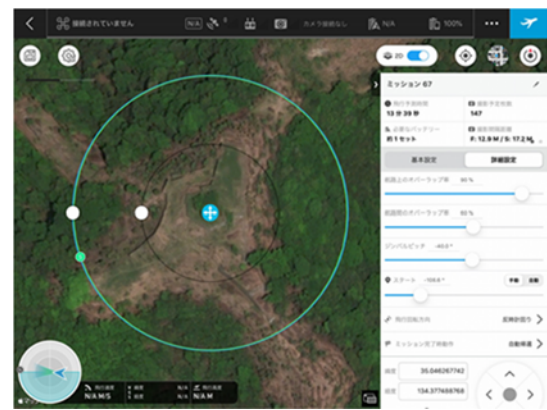


図9 フライトマップ(建物モード)

写真測量画像を撮影する。以下「建物モード」と表記する)での自動飛行による空中撮影を行った。ヘリコプター等の接近や猛禽類の飛行もなく, 安心して撮影を実施することができた。

4. 画像処理

SfM/MVS ソフトウェアは, ロシア Agisoft 社の Metashape Professional を使用した。以下の3次元モデルは, これまでと同様, 山船晃太郎氏(テキサス農工大学)に教わった内容を基本とし, 岡本・大浦・眞部の協力のもとで堀江が作成したものである。

5. 3次元モデルの評価

まず利神城全域の3次元モデルについて, 以下の2つの方法で作成した(図10~13)。

- 方法① 領域モードで撮影した写真測量画像 417枚
- 方法② ①に, 天守台が残る山頂部のみ建物モードで撮影した写真測量画像 161枚を合わせた計 578枚



図 10 3次元モデル1 (領域モード)



図 11 3次元モデル2
(領域モード+一部建物モード)



図 12 3次元モデル3 (領域モード)



図 13 3次元モデル4
(領域モード+一部建物モード)

図 10・11 は利神城の西側を下，東側を上，図 12・13 は東側を下，西側を上に向けた 3 次元モデルである。図 10・12 が領域モードのみ，図 11・13 が領域モードに加えて山頂部のみ建物モードの写真を入れて処理したもので，図 10 と 11，12 と 13 を比較しやすいよう配置している。

一見ほとんど変わらない仕上がりに見えるが，細部を見ると，領域モードのみの図 10・12 にはデータ不足が原因と思われる欠損部が所々に存する。その点，山頂部を中心とする領域だけではあるが建物モードで撮影した写真を入れている図 11・13 の方が完成度の高いモデルが作成できている。

次に，天守台を中心とする山頂部の 3 次元モデルを，次の 2 方法で作成した(図 14～17)。

方法③ 建物モードで撮影した写真測量画像 161 枚

方法④ ③に，天守台が残る山頂部のみ領域モードで撮影した写真測量画像 29 枚を合わせた計 190 枚



図 14 3次元モデル5 (建物モード)



図 15 3次元モデル6
(建物モード+領域モード)



図 16 3次元モデル7 (建物モード)



図 17 3次元モデル8
(建物モード+領域モード)

図 14・16 が建物モードのみ、図 15・17 が建物モードに加えて山頂部のみ写っている領域モードの写真をいれて処理したもので、図 14 と 15、16 と 17 を比較しやすいよう配置している。

山頂部が写っている領域モードの写真測量画像は 29 枚だけだが、やはり建物モードのみで作成した図 14・16 は欠損部が散見され、領域モードの 29 枚を入れたモデルの方が完成度が高い。

今回の結果からすれば、1つの自動飛行モードよりも、複数の自動飛行モードで取得した写真測量画像を使用した方が、欠損が少なく精度の高い 3次元モデルを作成できる可能性が高いことが分かった。

6. 今後の課題

本報告では、兵庫県佐用町の近世初期の山城・利神城を事例とする精密な 3次元モデル作成のための予備実験を実施した。結果としては、1つの自動飛行モードよりも、複数の自動飛行モードで取得した写真測

量画像を使用した方が、精度の高い 3次元モデルを作成できる可能性が高いことが分かった。

本研究グループは、全国各地の山城、城柵、チャシ、グスク等の防禦機能を持つ大規模遺跡について、3次元モデルを用いた防禦機能の比較研究を試みることを目的としている。『佐世保工業高等専門学校研究報告』第 56 号(本号)でいくつかの同様の事例を紹介しているが、それらの実験を積み重ねながら、まず精度の高い 3次元モデルを作成し、防禦機能のシミュレーションの土台を作り上げることが先決である。まだ道のり半ばといったところであるが、事例を一つずつ積み重ねていくことで一步一步精密な 3次元モデル完成に近づけていきたい。

また、冒頭に述べたとおり、本報告で取り上げた利神城のように、遺跡破壊を防ぐために現在登頂禁止あるいは立入禁止となっているような事例は少ない。このような遺跡こそ、人間の立入を必要としない本研究グループの研究手法が有用である。

現在は、城郭から離れた場所にある展望台(図 2 参照)から眺めることしかできない。一方で、地元住民からは、観光リソースとしての利神城の積極的活用に対する熱い要望が多い⁸⁾。しかし登山道の整備や石垣の補修等々が必要であるため、すぐに登頂禁止を解除するのは無理であろう。また、いずれ登頂可能となったとしても、一度に多くの見学者を受け入れず、自治体が年間入山人数の総量制限を設けてガイド付きツアーを企画する等の方式も検討されるであろう。

このような利神城の現状を踏まえ、次善の策として、例えば、ドローン飛行を擬似体験しながら利神城を空から眺める、あるいは同じ高度からの視点で眺める、等々の設備があれば、観光客も満足することができ、許可なしで登頂して遺跡破壊を招く可能性を減らすことができるのではないかと考える。今後は、本研究グループの研究手法を、遺跡保存や、遺跡の観光リソースとしての価値の高度化に発展させていきたいと考えているところである。

注

- 1) 堀江潔, 眞部広紀, 岡本渉, ドローンによる西北九州地域の古墳・山城の空中撮影—3D化によるアーカイブ構築を目指して—, 日本情報考古学会講演論文集, VOL.21 (通巻 41 号), pp.98-103, 2018,

- 堀江潔, 眞部広紀, 岡本渉, 三次元モデルによる古代山城比較研究試論—佐賀県武雄市おつぼ山神籠石と福岡県久留米市高良山神籠石—, 佐世保工業高等専門学校研究報告第 55 号, pp.48-51, 2019
- 2) 堀江潔, 百濟滅亡後における倭国の防衛体制—斉明紀「繕修城柵」再考—, 日本歴史第 818 号, pp.1-16, 2016
 - 3) 『佐世保工業高等専門学校研究報告』第 56 号(本号)に, チャシコツ岬上遺跡・オロンコ岩チャシ(北海道斜里町), エンルムチャシ(北海道様似町), 志波城(岩手県盛岡市), 脇本城(秋田県男鹿市), 具志川城(沖縄県糸満市)の事例を掲載している。
 - 4) 利神城, 日本城郭大系 12 大阪・兵庫, 新人物往来社, pp.486-489, 1981
 - 5) 城郭と城下町 7 山陽, 小学館, pp.79, 1983
 - 6) 深谷克己, 大系日本の歴史⑨土農工商の世, 小学館, pp.34-40, 1993, 初出 1988 など
 - 7) 高田徹, 利神城, 歴史群像シリーズ よみがえる日本の城 4 姫路城, 学習研究社, pp.60, 2004
 - 8) 利神城跡保存活用計画策定委員会 会議議事録(概要版)(平成 30 年度第 4 回), 2019 など

付記

本研究は, 国立高等専門学校機構の「研究ネットワーク形成支援事業」に採択された「洞窟計測探査シミュレーションプログラム」(代表: 眞部広紀)の, 大規模遺跡調査部門のプロジェクトの一環として進めているものである。

謝辞

佐用町教育委員会の藤木透氏には, 利神城のドローン空中撮影に際し, ご配慮をいただきました。ここに記して感謝の意をあらわします。

本研究で行った 3 次元モデル作成実験に際しては, サントリー文化財団「学問の未来を拓く」助成金「古代から中近世にわたる山城・城柵・グスク・チャシの変遷に関する研究—構造の 3 次元モデル比較と防禦機能に関するシミュレーション—」(代表: 堀江)の補助の一部により進めました。