

神奈川県横須賀市千代ヶ崎砲台跡の ドローン写真測量とUGV探査の予備実験 —歴史文化観光資源としての活用法検討—*

堀江 潔**, 堀井 樹***, 大浦 龍二**, 眞部 広紀**

**Preliminary Experiment for Drone Photogrammetry and Exploration using UGV
of Chiyogasaki Battery Remains, Yokosuka City, Kanagawa, Japan
: Study on the Conservation and Utilization of Historical and Cultural Heritage
as a Tourism Resource**

Kiyoshi HORIE**, Tatsuki HORII***, Ryuji OHURA**, Hiroki MANABE**

1. はじめに

全国各地に数多く残されている戦争遺跡の中で、最も著名なものは広島市の原爆ドームであろう。原爆ドームは終戦直後、行政によって保存計画が打ち出された。その後GHQによる解体要望等、保存の危機にさらされたが、市民による保存運動や保存に向けた募金運動等に支えられ、平和のシンボルとして位置づける考えのもと、平成8年(1996)に世界文化遺産登録された¹⁾。この世界遺産登録の過程で、それまで文化財の対象外とされていた戦争遺跡を、文化財として指定できるよう史跡指定基準が変更された²⁾。これをうけた各都道府県の教育委員会が、文化庁からの委託で近代遺跡の所在地・保存状況について調査した後、文化庁が平成14年(2002)、計544件の戦争遺跡を公表した。その後「近代遺跡の調査等に関する検討会」で審査され、詳細に調査すべき戦争遺跡50件が選定されている³⁾。

このように戦争遺跡の重要性は、ここ20年ほどで急速に高まっている。しかし原爆ドームのような事例は特別な例で、全国各地には史跡指定されずに放置されているもの、劣化が著しく調査・研究が難しくなっているもの等々、時間の経過とともに、顧みられず消滅の危機に瀕している戦争遺跡が数多く存する。上述の詳細調査対象50件の中に、長崎県内では四郎ヶ島



図1 田島岳高射砲台跡(長崎県佐世保市)

台場(長崎市)、海軍佐世保鎮守府防衛砲台群(佐世保市)、対馬の砲台群(対馬市)の3ヶ所が入っているが⁴⁾、保存・整備がなされているのは佐世保市の田島岳高射砲台跡(図1)や対馬の豊砲台跡等、数少ない。

戦争遺跡は、平和教育の教材として重要性を持つことに加え⁵⁾、当時の高い技術水準を調査、分析、研究し、貴重な歴史文化観光資源として活用していくことが今後重要となる。破壊され消えていく戦争遺跡が多い中、早く調査・研究を実施し、適切に保存できるよう措置を施し、公開・利活用に繋げていくことが喫緊の課題である。この問題に対し、分野横断的な研究連携と先端測量技術による調査、及びその調査技術開発と利活用等を目的として、令和3年(2021)3月に、舞鶴高専建設システム工学科の毛利聡氏を代表とする研究ネットワーク『軍港都市遺産を対象とした先端測量技術の開発と遺構調査の実践』が立ち上げられた。本研究は、その一環として実施したものである。

* 原稿受付 令和4年1月11日

** 佐世保工業高等専門学校 基幹教育科

*** 先進的 UAV 研究事業 AeroFlex

2. 千代ヶ崎砲台跡の概略

堀江・大浦・眞部の勤務校が所在する長崎県佐世保市に、明治22年(1889)、海軍の軍事拠点として鎮守府が設置された。長崎県は地理的に大陸や朝鮮半島に近く、海路の要所となる東シナ海や対馬海峡に面している。そのため特に西彼杵半島や県北地域、対馬・壱岐等の離島に、数多くの砲台が造られた。現在も砲台跡が県内各所に残されており、先に紹介した佐世保港を見下ろす弓張岳にある田島岳高射砲台跡等、一部は歴史文化観光資源として利活用されているが、このような事例は多くない。特に、海防上で重要性が高い壱岐や対馬の砲台跡は、調査・整備されていないばかりか、場所を見つけるだけでも大変な労苦と危険を伴うところが数多く存する⁶⁾。

今回、現状では劣化が著しく調査・研究が難しくなっている戦争遺跡について、安全かつ効率的な調査・研究方法を模索するため、令和3年(2021)12月末に実施した予備実験について、簡易的な報告をおこなう。

未整備で荒れ果てた遺跡での予備実験の実施は、調査で使用する機器やそれを操作する人間を危険にさらすことになる。そこで予備実験のフィールドとして、令和3年10月23日に土曜・日曜・祝日に限定して公開が開始されたばかりの神奈川県横須賀市千代ヶ崎砲台跡(図2)を選定した。

千代ヶ崎砲台は、首都東京や鎮守府が置かれた横須賀港を攻撃するために侵入する敵国艦船阻止を目的として構想された東京湾要塞の一つで(図3)、明治28年(1895)に竣工した。戦後、一時民間利用されたが、その後海上自衛隊が千代ヶ崎送信所として平成25年(2013)まで使用した。そして平成27年(2015)年、東京湾要塞の中でも特に築造当時の様相が良好に残されていることから、猿島砲台跡(神奈川県横須賀市、図4)とともに国史跡に指定された。その翌年(2016)から横須賀市が管理し、保存・公開に向けて発掘調査等が継続的に実施されている。

なお、横須賀市教育委員会による発掘調査直後の平成30年(2018)、関東学院大学建築・環境学部黒田泰介研究室によって、第三砲座について3Dレーザース

キャナを用いた実測調査が実施されている⁷⁾。その後、公開予定の全域に関して、横浜市教育委員会の委託を受けた業者が3Dレーザースキャナを用いた変位測定を実施している⁸⁾。



図2 千代ヶ崎砲台(ドローン空中撮影, 操縦:堀井樹)

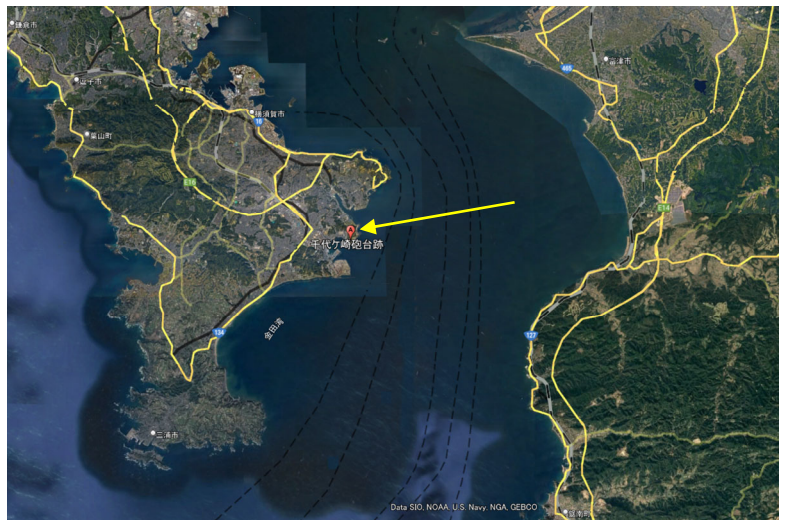


図3 千代ヶ崎砲台の位置(矢印の場所, Google Earth Pro)



図4 整備し公開されている猿島砲台跡

3. ドローン空中撮影の予備実験

予備実験の最初に、3Dモデル製作に向けて、ドローン空中撮影を実施した。使用したドローン(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)は、先進的 UAV 研究事業 AeroFlex(堀井樹)製造の小型ドローン“Ibis”である(図5)。既に3Dレーザースキャナを用いた測量を終えているが、ドローン空中撮影による写真測量をおこなうことで、それぞれの測量法をもとにした3Dモデルを比較検証する研究も可能となるだろう。今回の調査は予備実験のため時間と労力を削減し、ドローン空中撮影による動画から切り出した画像をもとにして、3Dモデル製作を実施することにした。

1回目の飛行で、25m上空から3つの砲座の上を自動飛行で全体的に撮影した(図6)。撮影当日は、穏やかな日差しで日陰ができる晴天であったが、風はなくドローン飛行には問題のない日であった(図7)。

2回目の飛行では、より精密な3Dモデルをつくることを想定し、最北端にある第三砲座を、自動飛行で

25m上空から密に(東西方向の飛行を加えて)撮影することとした(図8・9)。

最後に、各砲座の側面等の精密な写真測量を想定したドローンの手動飛行を試みて(図10)、ドローン飛行の予備実験を終了した。

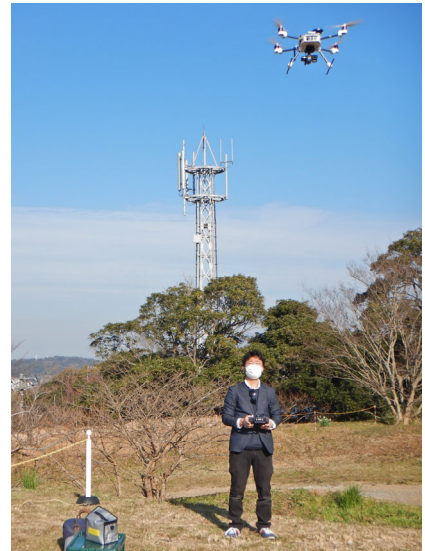


図7 ドローン離陸



図5 先進的UAV研究事業AeroFlex(堀井樹)製造の小型ドローン“Ibis”



図8 ドローン飛行ルート(第三砲座を撮影)

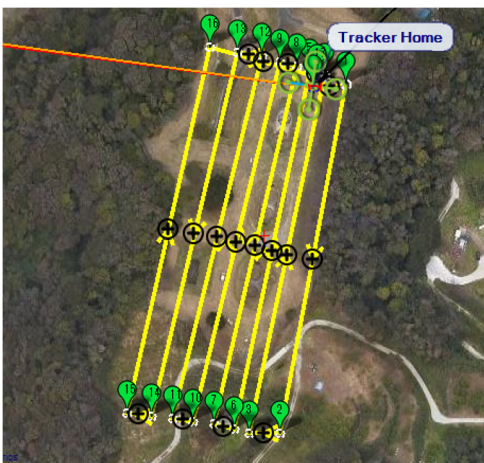


図6 ドローン飛行ルート(全体を撮影)

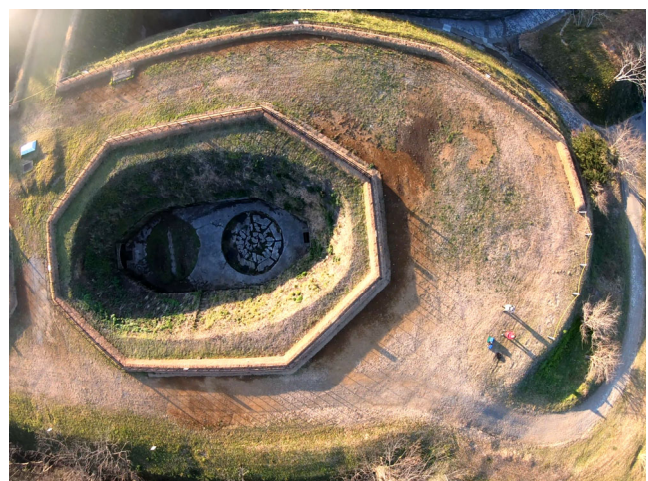


図9 ドローン空中撮影(第三砲座上)



図10 第三砲座をドローン手動飛行中

4. UGV探査の予備実験

次に、UGV(Unmanned Ground Vehicle, 無人地上走行車両)探査の予備実験をおこなった。この実験は、塁道(各施設の連絡道)や砲側弾薬庫, 棲息掩蔽部(兵員の宿舎や倉庫として使う)等の砲台内の各施設, 特に人間の立ち入りが難しい狭い通路や, 何らかの理由で人間の立ち入りが禁止されている箇所等の測量を想定したものである。使用したUGVは, ドローンと同じく先進的 UAV 研究事業 AeroFlex(堀井樹)製造のUGV “Serval”である。なお, 今回の実験では塁道等の明るい箇所だけでなく, 暗い地下空間内も試みとして走行を実施した。その際には, 地下空間の明るさが不足したため, 横浜市教育委員会からお借りしていたライトを急遽養生テープでUGVに装着して, 走行している(図11)。

UGV “Serval” は前後左右へ自由に動かせるため,

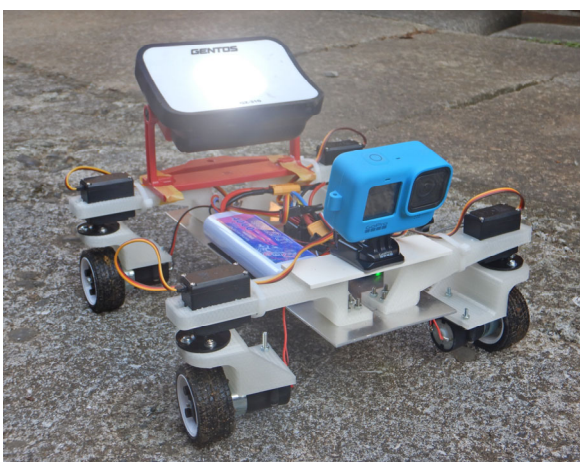


図11 先進的UAV研究事業AeroFlex(堀井樹)製造のUGV “Serval”



図12 砲側弾薬庫内を走行中



図13 塁道を走行中(操縦:堀井樹)



図14 立入禁止区域の実験的走行

広い砲側弾薬庫内(図12), 少々の段差がある塁道(図13)も, 問題なく安定して走行できた。さらに, 現在は立入禁止となっている交通路(図14)や, 極めて狭い地下空間の施設間交通路(図15)も, 問題なく奥まで走行し, 戻って来ることができた。

今後実施する予定の長崎県内の砲台跡を想定しながら, 上記のような実験的走行を試みたが, いずれも全く問題なく実施することができた。



図 15 極めて狭い地下交通路を走行中



図 17 3D モデル② (Pix4D)

5. 3D モデルの実験的製作

予備実験を終えた後、堀井が撮影した動画をもとにして SfM/MVS ソフトウェアを使用し、3D モデル製作を実験的におこなった。使用した SfM/MVS ソフトウェアはスイス Pix4D 社の Pix4D である。

その後、切り出した写真をもとに、堀江がこれまでの報告と同様、ロシア Agisoft 社の Metashape Professional を使って 3D モデルを製作した⁹⁾。今回は実験的なドローン飛行で撮影した動画をもとにしたため、極めて高い精度の 3D モデルは得られていない点をあらかじめ付記しておく。

まず、Pix4D を使用した堀井製作の 3D モデルを、図 16～20 に掲げる。図 16 は、千代ヶ崎砲台跡の全体を自動飛行させた1回目のドローン空中撮影動画をもとに製作したものである。

図 17 は、図 16 と同じ 3D モデルから、第三砲座を拡



図 18 3D モデル③ (Pix4D)



図 19 3D モデル④ (Pix4D)



図 16 3Dモデル① (Pix4D)



図 20 3D モデル⑤ (Pix4D)

大して切り取った画像である。細かな点が少し気になる。図 18 は、第三砲座のみを撮影した動画に基づく 3D モデルである。やはり砲座のすぐ上の細かな点が少々気になるところである。図 19・20 は、UGV で撮影した地下通路の動画から 3D モデルを製作したものである。前述し



図 21 3D モデル⑥ (Metashape Professional)



図 22 3D モデル⑦ (Metashape Professional)



図 23 3D モデル⑧ (Metashape Professional)



図 24 3D モデル⑨ (Metashape Professional)

たとおり、今回、もともと予定していなかった暗い地下交通路等を実験的に撮影したので仕方がないことだが、明るさの確保ができなかった影響が出ている。

次に Metashape Professional を使用した堀江製作の 3D モデルを、図 21～24 に掲げる。図 21 は、図 16 と同じ千代ヶ崎砲台跡全体を自動飛行させた 1 回目のドローン空中撮影動画から、切り出した画像 999 枚をもとに製作した。図 22 は、図 21 と同じ 3D モデルから、第三砲座を拡大して切り取った画像である。図 17 に見られる細かな点は見られないが、真上から撮影した動画からの切り出し画像をもとにしているため、竪穴の側面に少し粗さが見られる。図 23 は、図 18 と同じ第三砲座のみを撮影した動画から、切り出した画像 333 枚に基づく 3D モデルである。やはり図 22 と同様に、竪穴の側面に少し粗さが残る。図 24 は、図 19・20 と同じ地下通路の動画から、切り出した画像 300 枚をもとに 3D モデルを製作したものである。やはり地下空間内の明るさが不足したため、データがうまく取得できていないのであろう。

堀江は Metashape Professional を用いた 3D モデル製作について、世界各地の水中遺跡調査に携わっている山船晃太郎氏(水中考古学者・船舶考古学者)のワークショップを受講し、3D モデル製作に関する様々なノウハウを得ている。山船氏によると、動画切り出し画像を用いた 3D モデル製作は、精密さに欠けるため避けるべきであるとのことである。今回は実験的な 3D モデル製作で、ドローンで撮影した空中写真ではなく動画切り出し画像を用いた。製作後の使用用途によるが、本格的な写真測量を実施するのであれば、ドローンで撮影した空中写真を取得し、それに基づいて 3D モデルを製作するのがよい。

また、真上からのみの写真に基づく 3D モデルでは、傾斜面のデータが少ないため、再現の精密性に欠けることになる。正式な測量をおこなう際には、これまでの報告でおこなってきたような、斜め上の角度から撮影したドローン空中写真の撮影も考えておかねばならないだろう。

6. 今後の課題

今回の予備実験は、調査や整備がなされておらず、荒れ果てて接近を試みるだけで大変な労苦と危険を伴う、あるいは立入禁止となっているような戦争遺跡等の、安全かつ効率的な調査方法の検討のために実施したものである。本研究で適宜指摘してきたように、改善の余地はまだ多く存するものの、ドローン(UAV)や地上走行ロボット(UGV)を用いた調査が効果的である、という手ごたえを得ることができた。何よりも大きな成果と言うことができる。

今後は、調査に最適な機器の開発・諸機能の高度化を図って予備実験を繰り返すことに加え、主たるターゲットとなる長崎県内の戦争遺跡の調査実験を進めていく予定である¹⁰⁾。調査・研究の進展が、歴史文化観光資源となり得る遺跡の保存・公開の前提となる。特に壱岐・対馬等の離島地域には、草木に吞み込まれ忘れ去られた戦争遺跡が多く残されている。それら調査・研究を進め、歴史文化観光資源としての利活用によって地域振興に寄与するためにも、この研究を着実に進展させていきたい。

注

- 1) 濱田武士，戦争遺産の保存－原爆ドームを事例として－，関西学院大学社会学部紀要 116，pp.101-112，2013
- 2) 抜水茂樹，戦争遺跡に関する考察－鹿児島県における戦争遺跡の意義とその活用方法について－，鹿児島県立埋蔵文化財センター研究紀要・年報 縄文の森から 4，pp.49-50，2006
- 3) 外池智，戦争遺跡のアーカイブと歴史教育における活用－秋田県を事例として－，秋田大学教育文化学部教育実践研究紀要 30，pp.14-15，2008
- 4) 抜水注 2)前掲論文，p.12
- 5) 山口剛史・田中洋・島袋純・全炳徳・近藤寛・松元浩・新名主健一，離島の戦争遺跡・国境をめぐる国際交流から平和教育を考える，新しい時代の要請に応える離島教育の革新：長崎大・鹿児島大・琉球三大大学共同研究から：教育に生かす平和と多文化理解，pp.2-3，2007
- 6) 対馬観光物産協会，対馬砲台あるき放題～対馬要塞まるわかりガイドブック～，pp.29-31
- 7) 黒田泰介，東京湾要塞 千代ヶ崎砲台跡 榴弾砲砲

台 第三砲座に関する考察，日本建築学会計画系論文集第 84 巻第 766 号，pp.2629-2638，2019

- 8) 横須賀市教育委員会・株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング，国指定史跡東京湾要塞跡千代ヶ崎砲台跡 現状調査業務委託報告書，pp.1-34，2019
- 9) 堀江潔，岡本渉，大浦龍二，眞部広紀，[a]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。その他，6 本の報告を同号に掲載した。[b]北海道斜里町オロンコ岩チャシのドローン写真測量と 3 次元モデル作成の予備実験，pp.21-27，[c]北海道様似町エンルムチャシのドローン写真測量と 3 次元モデル作成の予備実験，pp.29-34，[d]古代城柵・岩手県盛岡市志波城のドローン写真測量と 3 次元モデル作成の予備実験，pp.35-40，[e]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，pp.41-46，[f]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，pp.47-52，[g]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一，pp.53-58
- 10) その成果の一つとして，長崎県壱岐市の黒崎砲台跡で実施した予備実験について本号で報告をおこなっている(pp.80-87)。

謝辞

横須賀市教育委員会の川本真由美氏には、事前打ち合わせ、当日の砲台跡の案内と休憩所内展示物の解説、ライト等の貸し出し等々、色々とお世話になりました。ここに記して感謝の意をあらわします。

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、及び「軍港都市遺産を対象とした先端測量技術の開発と遺構調査の実践」（代表：毛利聡）のプロジェクトの一環として進めている。

本研究は、JSPS 科研費 JP21K12472 の助成を受けたものである。