

## 硫黄島の戦跡に関するデジタルアーカイブの試み

佐藤 大輔<sup>\*†</sup> 岩切 宗利<sup>\*‡</sup> 藤原 匠<sup>\*‡</sup> 小川 健一<sup>\*§</sup> 竹内 健一<sup>\*§</sup>

\*防衛大学校 〒239-0811 神奈川県横須賀市走水 1-10-20

† 理工学研究科情報数理専攻 ‡ 情報工学科 § 統率戦史室

E-mail: † em61015@nda.ac.jp, ‡ {iwak, ftakumi}@nda.ac.jp § {kenogawa, takeuchi}@nda.ac.jp

**あらまし** 硫黄島の戦跡は、環境の変化によって失われつつあり、その継承と利活用が課題となっている。戦跡を含む文化財の収集、保存方法として、デジタルアーカイブが近年注目を集めている。そこで本報告では、デジタルアーカイブのためのデジタルデータを電子情報基盤とし、本報告では、電子情報の形式として静止画像、動画像、全天球映像、3次元モデルといったデータ形式ごとに、硫黄島の電子情報基盤としての特性、収集及び処理方法について示す。

**キーワード** 写真測量・画像処理・デジタルアーカイブ・LiDAR・3次元モデル

## An Attempt at a Digital Archive on The Battle Sites of Ioto Island

Daisuke SATO<sup>†</sup> Munetoshi IWAKIRI<sup>‡</sup> Takumi FUJIWARA<sup>‡</sup> Kenichi OGAWA<sup>§</sup>  
and Kenichi TAKEUCHI<sup>§</sup>

† Mathematics and Computer Science, Graduate School of Science and Engineering,  
National Defense Academy of Japan

‡ Department of Computer Science, National Defense Academy of Japan

§ Command and History, School of Defense Sciences, National Defense Academy

E-mail: † em61015@nda.ac.jp, ‡ {iwak, ftakumi}@nda.ac.jp § {kenogawa, takeuchi}@nda.ac.jp

**Abstract** The battle sites on Ioto Island are being lost due to environmental changes, and their inheritance and utilization is becoming an issue. Digital archives have attracted attention in recent years as a method for collecting and preserving cultural heritage, including battle sites. This report presents the characteristics of Ioto Island as an electronic information base, its collection and processing methods for each media format, such as still images, moving images, omnidirectional images, and three-dimensional models.

**Keyword** Photogrammetry, Image enhancement, Digital archive, LiDAR, 3d model

### 1. はじめに

硫黄島は太平洋戦争の戦場となった場所で、地上や地中に多くの貴重な戦跡が存在する。また、硫黄島は火山島であり、2016～2022年の7年間で隆起量が7mを超え、年間1m以上という世界で最も隆起速度が速いカルデラ火山の1つである[1]。そのため、立ち入りが困難になる地域が年々増加しており、その戦跡の継承が課題となっている。

近年、戦跡を含む文化財の収集、保存方法としてデジタルアーカイブが注目を集めている。デジタルアーカイブのためには様々な形式の電子情報を収集し、活用できる形に整備する必要がある。本報告では、この整備されたデジタルデータを電子情報基盤と呼ぶ。硫黄島の戦跡を題材として、電子情報基盤の構築を容易にできれば、デジタルアーカイブに関する工学的技術の発展とともに、様々な史跡資料の充実が期待できる。

### 2. 研究目的

本研究ではデジタルアーカイブのための硫黄島の戦跡に関する電子情報基盤構築を目的とした。本報告では、硫黄島の電子情報基盤としての活用方法を示す。その中でも特に3次元モデルは、それ以外の2次元情報と比べて、歴史的な場所や物体を仮想的に再現でき、視覚的な理解を深めるために有力なデータ形式として注目されていることから、そのデータの取得から情報処理の方法までの詳細を示す。

### 3. 電子情報の特性と収集

#### 3.1. 静止画像

近年、多くのカメラに取り付けられた機能により、撮影した位置情報と静止画像とを関連付けて記録することが容易になっている。この位置情報はジオタグと呼ばれ[2]、ジオタグを活用することにより、静止画像

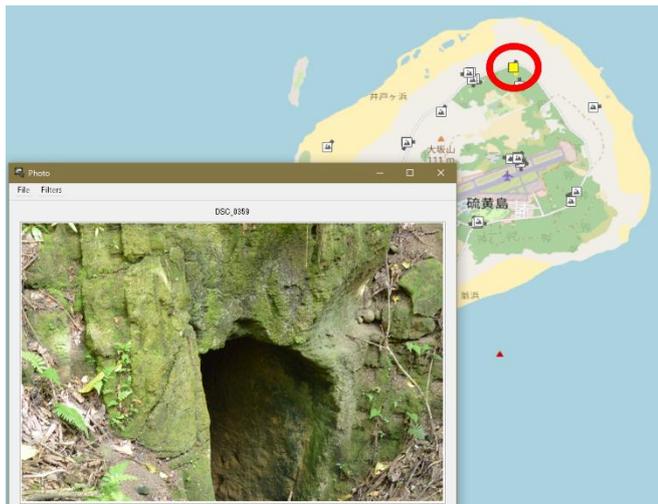


図1 ジオタグの活用例



図2 解説付き動画像

の収集が効率化されることが期待できる。図1は、オープンソース地理情報処理ソフト QGIS (Version 3.28.13)[3]の拡張機能である Import Photos を使って、QGIS 上の XYZ Tiles として表示できる OpenStreetMap という地図上に、硫黄島で撮影したジオタグ付き写真を撮影箇所とともに表示させたものである。図1に表示されている写真は、主要道路から植生の強い森林を越えた場所にある地下壕の入り口である。従来は、その撮影位置を地図や歩測等により評定していたが、カメラのジオタグ付与機能を活用することにより、その位置の記録に成功した例の一つである。

### 3.2. 動画像

動画像は、時間の経過を捉えることができるため、静止画像よりも豊富な情報を記録することができる。また、動画像は時系列を含む映像だけでなく、音声を組み合わせて伝えることができる。専門家による解説と合わせて戦跡の状況を動画像として残すことで、電子情報としての価値を向上できる。図2は、専門家が GoPro HERO11 で撮影した解説付き動画像の一例である。背景情報を臨場感とともに伝えることができる。

### 3.3. 全天球映像

全天球映像は、情報利用者が撮影された位置から360度自由な方向の映像を確認することができる形式である。情報利用者は、映像内をクリック、スワイプ、



図3 地下壕の全天球映像



図4 米軍戦車の3次元モデル

ドラッグなどの操作で自在に視点を変え、直感的に周囲の状況を観察することが可能であり、その結果として没入感を得ることができる。図3は、RICO THETA で撮影した地下壕内の全天球映像である。再生、停止と同時に自由な方向を確認しながら映像を確認できる。

### 3.4. 3次元モデル

3次元モデルは、情報利用者が対象物を自由な方向から確認することができるデータ形式である。3次元モデル生成の代表的な手法として、LiDAR-SLAM (Light Detection And Ranging - Simultaneous Localization and Mapping) という光測距器と自己位置推定技術を用いた手法[4]と SfM-MVS (Structure from Motion and Multi-View Stereo) という移動するカメラで撮影した画像から形状を復元する技術[5]がある。本研究では、この2つの手法を用いて硫黄島戦跡の3次元モデルを生成した。図4は、撮影した動画から SfM-MVS による3次元モデル生成ソフト Pix4D Mapper(Version4.8.4)[6]で生成した3次元モデルの一例である。

#### 3.4.1. LiDAR-SLAM による地下壕のモデル化

本研究では、LiDAR-SLAM 装置の一つである STENCIL2 を用いた。STENCIL2 は、LiDAR から得られた点群の反射強度や形状、取り付けられた光学カメラから得られる特徴点の動き、搭載された IMU

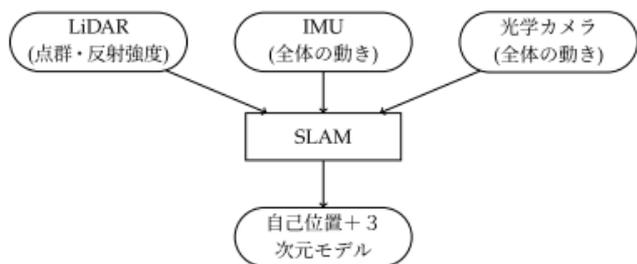


図5 STENCIL2のSLAM処理の流れ

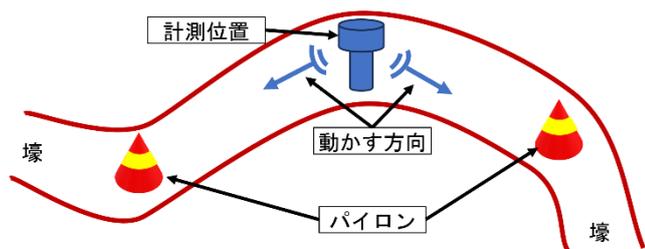


図6 壕内の測量方法

(Inertial Measurement Unit, 慣性計測装置)によって検出する3次元の慣性運動といった、大きく3つの要素から自己位置推定とモデル生成を同時に実現する。図5は、STENCIL2のSLAM処理の流れである。STENCIL2の使い方は、本体を起動し、携行して移動することで、LiDARから得られる点群をリアルタイムで位置合わせすることによって3次元モデルを生成する。しかし、硫黄島の地下壕では、この通常的使用方法では3次元点群を計測することができなかった。

従来の方法で地下壕の3次元モデル生成が失敗したのは、STENCIL2のLiDAR-SLAMの仕組みから、反射強度の特徴を得るのが困難であったこと、壕内は暗黒のためカメラからの情報が得られなかったことが原因と考えた。そこで、測量時の安全管理のために、硫黄島に携行していた反射材付き折りたたみパイロンを特徴的な反射強度のランドマークの設置に、小型LED懐中電灯をSTENCIL2に搭載されたカメラ視界の確保に使用することにした。

壕内の屈曲部にパイロンを設置し、そのうち2つのパイロンをSTENCIL2で観測できる位置から、パイロンの方向に対してそれぞれ約10度ずつゆっくりと動かして点群を取得した。図6は、この計測方法を表したものである。計測位置を点群の整合の基準とするため、その都度、地図上に計測位置と計測順序を記録した。計測後、それぞれの位置で取得した点群を地図、特徴的な反射強度のパイロン、壕の形状を基準に、手動で位置合わせを行い、壕全体の3次元モデルを生成した。

図7は、生成した地下壕の一例を地表面に対して水平なX, Y軸方向から撮影したものである。図7の点群は高さを基準に、最も高い点を赤、最も低い点を青

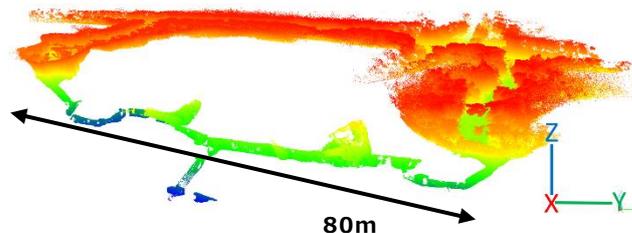


図7 地下壕の3次元モデル

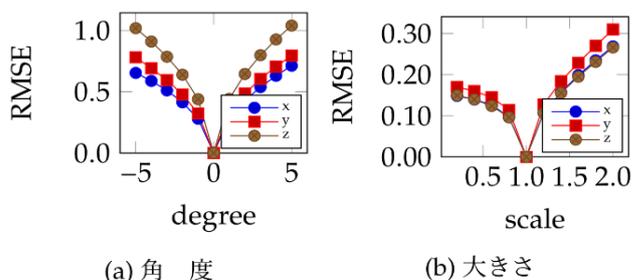


図8 画質評価結果

で色付けを行っている。赤や黄で表示されているのが地上部分であり、緑や青で表示されているのが壕内の部分である。この地下壕はやや山のような地形に対して掘られているため、高さが地表と同じ位置まで来ている部分があるのが確認できる。この結果からSTENCIL2のLiDAR-SLAMは、LiDARから得られる反射強度の情報と光学カメラから得られる情報が、最終的な自己位置推定と3次元モデル生成に大きく影響を及ぼすことがわかった。

### 3.4.2 モデルの整合

動画像を用いた3次元モデル生成は、特別に設定(スケール調整)しない限り実際の寸法は反映されない。一方、LiDARを用いて生成した3次元モデルは、センサからの距離と反射強度の情報を持った点群で構成されているため、点群は色情報を持っていない。電子情報基盤として十分な3次元モデルにするため、動画像からの3次元モデルを実寸に合わせたい。複数物体の3次元モデル生成分野で2値化画像の画質評価を用いてきた[7]ことから、X, Y, Zの3方向から撮影した画像を2値化し、画質評価することで詳細な整合ができると考えられる。

2値化画像の画質評価による詳細な整合の実行性を確認するため、シミュレーションモデル上で実験を行った。モデルを回転、拡大縮小させたものをそれぞれXYZ方向から撮影し、RMSE (Root Mean Squared Error)で画質評価した。図8は、それぞれの画質評価結果である。モデル角度が0度、大きさが1倍に近づくにつれて画質評価誤差が低下していることがわかる。この結果から、2値化画像の画質評価を用いた3次元モデルの整合は有用性があることが確認できた。

#### 4. 電子情報の整理

電子情報の利用者が、その目的に応じたデータを容易に見つけられることは、電子情報基盤として重要な点である。そのためには、収集した電子情報の整理が必要である。本章では史跡の利活用の方法から必要な整理を考察する。

史跡の持つ重要な活用として、見学し体験できるという点がある。体験は観光や教育の分野で重要とされ、人は体験することにより印象、気づきといったものを得て、対象とそれを取り巻く情報への理解をより深めることができる[8]。北本ら[9]は、体験を共有するために必要な情報には分類軸が必要であるとして、時間軸と視点軸を挙げている。また、富澤ら[10]や広瀬ら[11]は、資料の利活用のためには資料を取り巻く人間の思いや問題認識を含めるべきであると述べている。これらを硫黄島の戦跡に適用すると、時間軸として硫黄島の戦いの前、戦闘中、戦闘後の3つに、視点軸としては、島民、旧日本軍、米軍の3つの視点がそれぞれ考えられる。

活用例として、本研究データは、来年度から防衛大学校及び防衛医科大学における戦史教育で活用される予定である。硫黄島の戦史教育担当者からの聞き取りを実施したところ回答が得られた。

「硫黄島教育における、現地実習の時間は移動時間等を除くと、実質8時間程度しか確保できず、事前学習が重要である。文献や動画等のやや受動よりの学習だけではなく、学生が自らの手で全天球映像や3次元モデルの視点を操作して学習することで、『現地でこれを見たい』という主体的な実習目的に繋がると考える。」

この戦史教育における活用例から、戦跡の電子情報は、従来の文献や動画等の教育者主体としての教育資料に加え、全天球映像や3次元モデルといった被教育者が、主体的かつ視覚的に学習できる教育資料としても期待されていることがわかった。

本研究活動を通じて、電子情報の整理は時間や視点についての分類が必要であると考えられる。さらに、デジタルアーカイブに資する電子情報基盤は、最終的な活用への意識を絶やさず、継続的な関係者相互の協同により成し得るものであることがわかった。

#### 5. おわりに

本報告では、硫黄島の戦跡に関するデジタルアーカイブのための電子情報基盤構築を課題として、データ形式ごとにその特性等を考慮した電子情報の整備手法について示した。表1は、電子情報の形式ごとの特性をまとめた表である。電子情報基盤構築に携わる者の心構えとして、電子情報基盤は、デジタルアーカイブの骨幹をなすものであるからその理想的な目標を踏

表1 形式特性のまとめ

	ファイルサイズ	汎用性	時系列	対話性	仮想空間
静止画像	◎	◎	△	△	△
動画像	△	○	◎	◎	△
全天球映像	○	△	○	○	◎
3次元モデル	△	△	△	△	◎

凡例…◎適、○やや適、△やや不適

まえ、電子情報を理解し、様々な形式で収集し、歴史背景に応じた分類を行って資料を整理するとともに、問題認識を持って構築を継続しなければならない。

今後、電子情報基盤の収集、保存及び整理を継続し、他のデジタルアーカイブとの連携し、持続的に利活用容易な硫黄島のデジタルアーカイブの公開に繋がることが期待できる。

#### 文 献

[1] 東京大学地震研究所地震火山情報:2023年10月30日硫黄島沖噴火と新島形成について, <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/eq/20249/> (2023). (参照 2023-11-6).

[2] 八重樫恵太, 丸山拓馬, 柳井啓司, ジオタグ画像認識における位置情報の利用法の検討と分析, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2010) 論文集, OS6-2, pp. 1340-1347(2010).

[3] QGIS, <https://qgis.org/ja/site/index.html>, (参照 2023-11-6).

[4] 田崎勇一, LiDAR を用いた SLAM 技術の現状と展望, システム/制御/情報, Vol. 64, No. 2, pp. 51-56 (2020).

[5] 織田和夫, 解説: Structure from Motion (SfM) 第一回 SfM の概要とバンドル調整, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 55, No. 3, pp. 206-209 (2016).

[6] Pix4D, PIX4Dmapper, <https://support.pix4d.com/>. (参照 2023-12-13)

[7] 佐藤大輔, 岩切宗利, 藤原匠, マスク画像を用いた多重クラス複合 3次元モデルのスケール調整, 画像関連学会連合会第9回合同秋季大会要旨集, p. 15 (2023).

[8] 浅井徹, 平田光男, 制御教育を考える—体験の必要性と教材開発, 計測と制御, Vol. 54, No. 3, pp. 147-151 (2015).

[9] 北本朝展, デジタル台風:リアル空間での体験を共有する参加型情報基盤, 電子情報通信学会インターネットアーキテクチャ研究会, Vol. 109, No. 351, pp. 63-68 (2009).

[10] 富澤浩樹, 阿部昭博ほか, 資料の利活用を前提とした震災関連デジタルアーカイブの検討, 研究報告情報システムと社会環境 (IS), Vol. 2014, No. 3, pp. 1-8 (2014).

[11] 広瀬雄二, 山名流聖, 吉野凌太, 櫻井風雅, 体験獲得型地域文化デジタルアーカイブシステムの構築, 東北公益文科大学総合研究論集:Forum 21, No. 40, 東北公益文科大学, pp. 51-65 (2021).