

スマートフォン等を使用した LiDAR/TrueDepth 計測等 安価な機器を用いた計測技術による D X

第一測工株式会社 空間情報事業部 野田 剛太郎

第一測工株式会社 (〒320-0831 栃木県宇都宮市新町 2-6-10)

E-mail: noda@d-sokko.co.jp

1. はじめに

i-Construction や建設 D X の普及によって公共測量分野において移動計測車両 (MMS)、UAV レーザ、地上レーザスキャナ (TLS) など高価な機器による計測技術が利用される中、デジタルカメラを用いた SfM/MVS やスマートフォンを使用した LiDAR/TrueDepth など安価な機器による計測技術も注目を集めている。

これらの安価な計測機器による計測技術は、一般測量の分野や文化財のデジタルアーカイブ化など、幅広い活用が期待できる技術である。本研究では、安価な機器による計測技術の可能性について考える。

2. 安価な計測機器とその特性

表 2-1 のような機器を用いて一人でも容易に利用できる計測技術について考える。

表 2-1 安価な計測機器

機器名	価格	備考
デジタルカメラ	1~10 万円	コンパクトカメラ
THETA X	109,800 円	360 度カメラ
iPhone 15 Pro	159,800 円	スマートフォン
iPad Pro 11inch	124,800 円	タブレット

(1) デジタルカメラ

UAV による写真測量などで使われるフォトグラメトリ技術の中心である SfM (Structure from Motion) /MVS (Multi-View Stereo) を用いて三次元点群やモデルを作成することができる。計測対象物までの距離やラップ率などにより精度は変わるが、広い地形形状を測るものから遺跡の発掘調査によって出土さ

れる遺物まで様々なものに利用することができる。

地形測量は、既に作業規定の準則 (令和 5 年 3 月 31 日) 第 4 編第 3 章「UAV 写真点群測量」として運用されているため、本研究では遺物などの小さなものを対象とした計測について検討した。

表 2-2 使用するデジタルカメラ仕様

メーカー	名称	有効画素数	備考
SONY	α 6000	2,430 万	

(2) THETA X (360 度カメラ)

360 度カメラで撮影する写真もデジタルカメラ同様にフォトグラメトリを利用することができるが、本研究では 360 度動画から写真点群測量を行う方法について検証した。

現在 360 度カメラは、一般向けのものからプロ向け製品まで様々なものがある。本研究では、安価で動画撮影時にも位置情報 (GPS, GLONASS, QZSS, SBAS(WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN), A-GPS) を 1 秒間隔で取得することができるリコー社製の THETA X を採用した。

表 2-3 使用する 360 度カメラ仕様

メーカー	名称	静止画	動画
RICOH	THETA X	11K	8K (10fps)

(3) iPhone Pro/iPad Pro

iPhone/iPad は、どちらも Pro 版 (iPhone は 12 以降、iPad は 2020 年以降に発売された機種) であれば LiDAR (ライダー) を使用することができる。LiDAR (Light Detection And Ranging) とは、直訳すると“光の検出と測距”なので、レーザー光を対象物に照

射し、その反射光が戻るまでの時間をもとに対象物までの距離や形状をを測る (Time of Flight 方式) もので、近年では車の自動運転などの分野で注目されているリモートセンシング技術である。

LiDAR 以外にも FaceID の認証 (iPhoneX 以降の FaceID 対応機種) などに使われている TrueDepth (トゥルーデプス) という計測技術も使用することができる。TrueDepth とは、Apple 社が開発した iPhoneX で初めて搭載されたカメラシステムである。

LiDAR と TrueDepth の主な違いは、計測範囲と密度と精度であり、表 2-4 に示す。TrueDepth は数万個ものドットパターンを投影しその歪みから形状を推定する (目や口の動きを認識できる) ので計測精度が良いが、近接距離での使用となる。

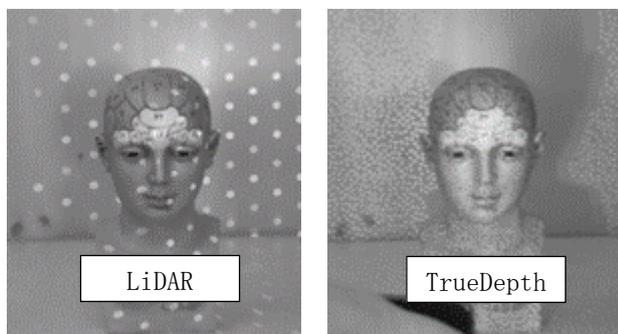


図 2-1 iFixit が公開している YouTube 動画 (<https://www.youtube.com/watch?v=xz6CExnGw9w>)

表 2-4 LiDAR と TrueDepth の違い

種別	計測範囲	計測密度	精度
LiDAR	距離 ~5m	数百個	○
TrueDepth	距離 25~50cm	数万個	◎

3. 実施した計測対象と機器

本研究での計測対象は土木構造物からは道路橋・鉄道橋、地形からは河川、小さな形状として土器・埴輪とした。また TrueDepth による計測は、計測範囲が 25~50cm と近距離仕様であるため土器・埴輪など小さな遺物での利用のみとした。

実施した使用機器・計測技術は表 3-1 の通り。

表 3-1 実施した計測対象と機器

使用機器	デジカメ	360 度カメラ
計測技術	フォトグラメトリ	
道路橋・鉄道橋	-	-

河川	-	○
土器・埴輪	○	-
使用機器	iPhonePro/iPadPro	
計測技術	LiDAR	TrueDepth
道路橋・鉄道橋	○	×
河川	-	×
土器・埴輪	○	○

※○実施、×不可、-可能だが本研究では実施しない。

4. 道路橋・鉄道橋

橋梁一般図等を作成する際、本来であれば地上レーザスキャナ (TLS) を用いるが、一人で行う簡易な調査や現地踏査などの場面を想定し iPadPro を利用した LiDAR 計測を実施した。

(1) 計測結果

a) LiDAR 道路橋計測結果 (点群 356 万点)

実測値と多少誤差が出る結果となった。しかし、精密な精度を要求しない現場、現地調査や簡単な図面作成等には十分有効であることが分かった。

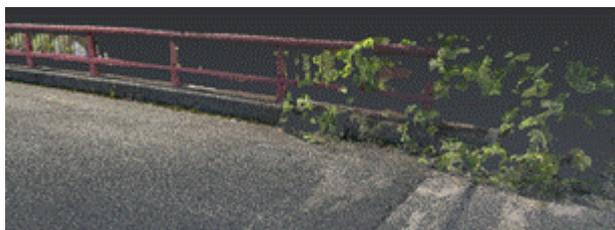
■道路橋 (現地写真)



▼全景



▼高欄



▼実測橋長 35.0m 点群計測値 35.06m



▼実測幅員 5.0m 点群計測値 5.01m



▼実測高さ 2.67m 点群計測値 2.65m



b) LiDAR 鉄道橋梁計測結果（点群 398 万点）

道路橋と同様に多少の誤差がでたが、数分の計測で、かなり詳細な計測結果を得ることができた。小規模土工や緊急対応には有効である。今後、計測方法の試行錯誤で精度は上がると思われるが、現状では、地上型（TLS）との使い分けが必要である。

■鉄道橋（現地写真）



▼全景



▼全景



▼実測幅員 4.3m 点群計測値 4.3m



(2) 可能性について

iPad 等による LiDAR 計測は、計測範囲が 5m（自撮り棒使用で 10m）であるため、対象範囲は限定される。しかし、調査員一人がわずか数分で取得できる情報は非常に多く、計測点数は 300~400 万点にもなる。精密精度を要求しない現場は多く、緊急性のある現場も少なくない。小規模土工や地形点群の補足計測等にも大変有効であると考えられる。

5. 河川

宇都宮市河川課協力のもと、宇都宮市準用河川「越戸川」倉ノ内橋～平成橋間の約 240m を 360 度カメラで撮影した。



図 5-1 準用河川越戸川 撮影箇所

国土交通省では、「河川管理用三次元データ活用マニュアル（案）」（国土交通省水管理・国土保全局）を策定し、行政担当者向けに河川管理のための適切な三次元データの必要性及び特性をまとめ、定期縦横断測量における ALB（Airborne Laser Bathymetry、航空レーザ測深）による点群測量の標準的な作業方法をまとめている。また、三次元データの管理として「三次元管内図」の提供を各河川管理事務所が始めている。

近年の豪雨災害の危険を及ぼす大雨の発生頻度が

増加する中、県内各自治体においても、現在の状況を把握する上で河川の三次元化は必要である。しかし、各自治体が全河川で UAV または航空レーザ計測を実施するには相当な費用が掛かる。

ここで一つ提案したい。このように費用が掛かる業務委託ではなく、UAV に 360 度カメラを載せ動画撮影を実施する方法である。これには多くのメリットがあると考えられる。平時には 360 度動画を利用することにより苦情や施設の管理に利用できる。災害時には、平時の 360 度動画からフォトグラメトリを行い、災害発生場所だけの三次元データを作成する。そうすれば、必要最小範囲を最小限の費用で三次元データ化できるため、大幅な費用の削減になる。

そこで、平時は 360 度動画の利用、災害等の有事には写真点群測量として三次元データを作成できるか検証を行った。

(1) 計測結果

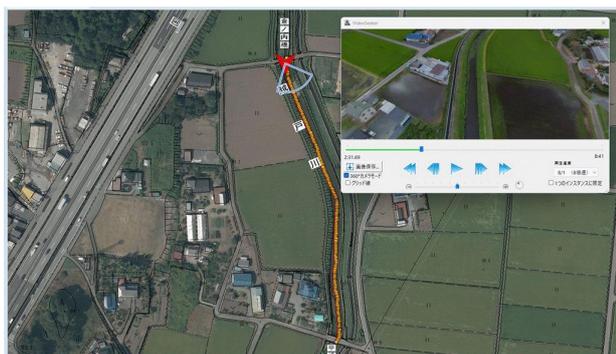
平時利用の 360 度カメラによる動画は、写真とは異なりマウス操作で見たい方向を見ることや拡大もすることができる。平時利用での苦情処理や施設管理などにおいても画素数が高いため有効であった。

災害等を想定した写真点群測量についても多少粗くなるが点群を作成することができた。点群データが出来れば各種ボリューム出しや簡易な断面図などが作成出来るため幅広い利活用が期待される。

▼UAV に 360 度カメラを取り付け撮影



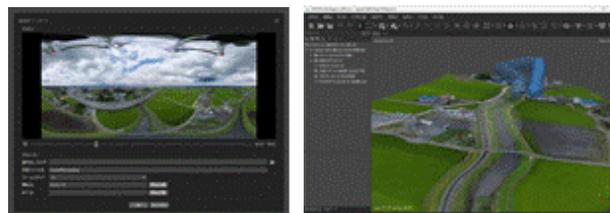
▼位置情報と 360 度動画



動画から写真点群測量を行う際は、動画 MP4 ファイルからラップ率を考慮し一定間隔でキャプチャを行い画像ファイルとして保存する必要がある。キャプチャはフレームレート数から行うため、動画のフレームレートと撮影ラップ率を考慮し撮影計画を行う必要がある。

本撮影では、1秒間隔で最適なラップ率となるよう速度等を調整していたため、Metashape (Agisoft 社製) を用いて静止画を作成し点群作成を行った。

▼静止画キャプチャと生成された三次元点群



作成された三次元点群から、市所有の都市計画基本図や写真地図 (デジタルオルソ) から視認可能な位置座標を点群またはメッシュデータへ座標を付与することで点群データの座標変換を行った。災害等発生時には平時の状態を三次元データとして作成することができることが分かった。

▼三次元モデル（左）と市所有の写真地図（右）



(2) 可能性について

平時利用としての360度カメラによる撮影動画は、写真地図（デジタルオルソ）では分からない広い範囲の映像を確認することが出来るほか、日常管理や苦情の対応にも使えるデータとなるため有効である。また災害時には、360度動画からの写真点群測量作成結果についても、多少粗い感じはあるもの平時データとして、災害発生箇所の別データと比較し、発生した護岸の崩れなどによる土砂のボリューム算出は概算程度であれば算出可能であると考えられる。

6. 土器・埴輪

文化財分野の遺跡発掘調査によって出土される遺物（本研究ではレプリカ）の計測をする。地上レーザスキャナ（TLS）では計測対象が小さすぎるためデジタルカメラによるフォトグラメトリ計測、LiDAR計測、TrueDepth計測の3種類を実施した。

(1) 計測結果

LiDARでの遺物計測は、対象が小さいため計測密度が不足していた。形状を表示することは出来たが、遺物のアーカイブという点では物足りなさを感じる結果となった。

TrueDepthでの遺物計測は、LiDARよりも計測密度はあるものの、細かな模様表現までは再現できなかった。LiDARと同様に遺物のアーカイブという

点では物足りない結果となった。

一方、フォトグラメトリによる計測では、それぞれの詳細な模様や質感まで再現することが出来た。撮影後のホワイトバランス等の調整で出来上がりのカラーも現物に近づけることが出来る。撮影枚数は多く必要だが、デジタルアーカイブという視点からも復元性が最も高い結果となった。

a) フォトグラメトリ計測

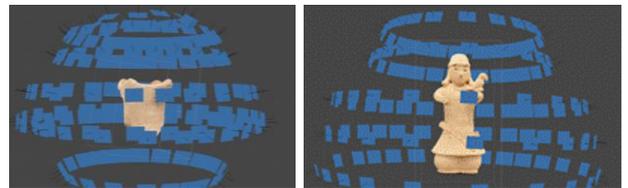
SONY 製α6000のカメラを使用して、Metashape（Agisoft社製）を用いて解析を行った。

▼撮影方法

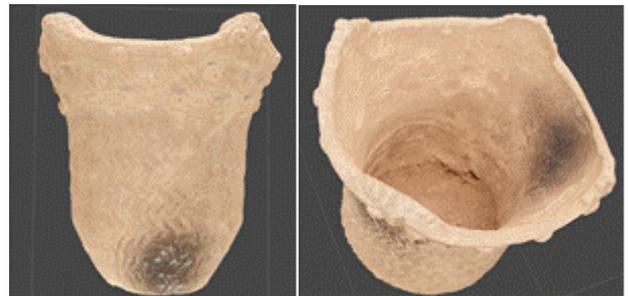


撮影は回転台・カメラ・三脚・照明を用意し、撮影方向を変えながら行う。計測対象から10cmの近接撮影を行った場合、1画素は0.002cmの分解能となるため非常に細かな表示ができる。ソフトウェア上で解析した結果、計測誤差0.253mmであった。

▼撮影方向（青四角が撮影箇所）



▼土器 フォトグラメトリ計測 3Dモデル化



▼土器 フォトグラメトリ計測 三次元点群



▼埴輪 フォトグラメトリ計測 3Dモデル化



▼埴輪 フォトグラメトリ計測 三次元点群



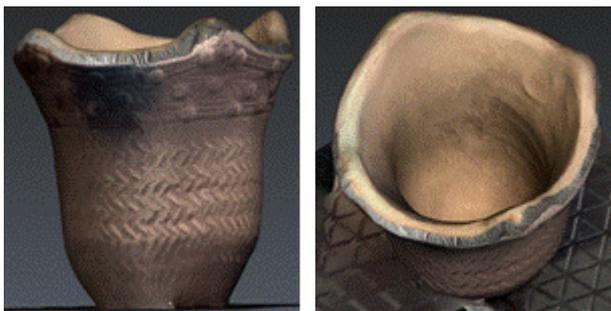
b) LiDAR 計測

▼土器 LiDAR 計測 3Dモデル化

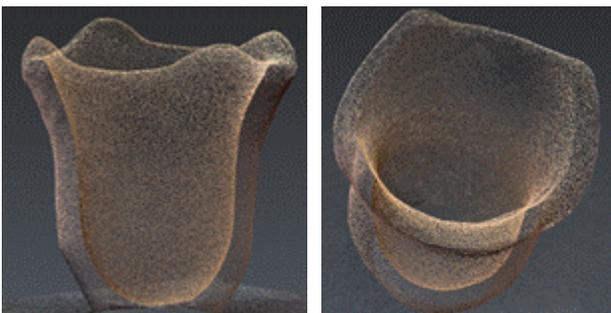


c) TrueDepth 計測

▼土器 TrueDepth 計測 3Dモデル化



▼土器 TrueDepth 計測 三次元点群



▼埴輪 TrueDepth 計測 3Dモデル化



(2) 可能性について

計測の対象にもよるが、今回検証を行った遺物では、デジタルアーカイブとして使用することが出来るのはフォトグラメトリ計測のみであった。LiDARやTrueDepth計測は細かな模様の再現や形状の復元では満足の行く結果とはならなかった。小さな物を計測するにはフォトグラメトリ計測が最適である。

7. おわりに

数年前までは、三次元計測には高価な計測機器を使うしかなかったが、本研究のように、計測対象によって機器の使い分けは必要だが、色々と興味を持ち工夫することによって、安価に、迅速に、手軽に計測できることが分かった。この省力化の試みは、財政面だけでなく環境面や労働面の働き方にも貢献できる一つのDXである。これからも我々技術者は最新テクノロジーにアンテナを張り、業界に貢献するべく努力を続ける必要があると考えられる。

今後は大量の計測結果をどのように活かすか、または共有していくかなど、課題は多くあるが常に最適な選択肢を検討して行きたいと考える。

最後に本研究に際してご協力頂いた宇都宮市河川課の方々に厚く御礼申し上げます。

(参考文献)

- 1) 中村亜希子. 考古学資料のフォトグラメトリー講座. 2022
https://researchmap.jp/nakamura_akiko_2018/presentations/37172858, (参照 2023-09-25).