

小型 UAV による写真測量の活用可能性に係わる研究

Research on the possibility of utilizing photogrammetric surveying with small UAV

北海道大学工学部 環境社会工学科国土政策学コース ○学生会員 奥山瑛人(Eito Okuyama)

(株) RiverLink 代表取締役社長 旭一岳 (Kazutake Asahi)

北海道大学大学院 工学研究院環境フィールド工学部門 教授 フェロー 清水康行(Yasuyuki Shimizu)

1. はじめに

昨今オープンデータの進展にともない基盤地図情報数値標高モデル¹⁾や水文水質データベース²⁾、国土数値情報³⁾など河川の研究に利用可能な数値データがインターネットを通じて入手、利用できるようになってきており地球温暖化対策⁴⁾や流出解析などの研究に活用されている。一方、河道内の地形データは水面下の地形計測が難しいことからデータが存在しない、または、横断面データがあったとしてもそれが公開されていないため関係者以外は存在するか否かを確認できないとなっている。昨今、グリーンレーザーを活用した計測が行われている河川もあるがそれら精度や実用性については現在研究段階である。そのため、災害発直後に素早く地形を計測する必要がある場合や、全くデータが存在しない河道区間を対象とした研究を行う場合には、簡易に地形を計測する技術が必要となる。簡易に取得するデータはたとえ精度が荒かったとしてもその瞬間でしか計測できない地形であることや、全くデータが存在しない区間のデータ取得であることから研究上非常に有効なデータと考えることができる。

そこで本研究では小型 UAV による写真測量でデータを取得し、それら精度確認およびデータ活用の可能性について検討をおこなうこととした。写真測量は2級河川新川水系琴似発寒川左股川合流点～山の手橋間を対象におこなった(図-1)。取得できた測量成果は当該区間の既往データと比較することでその精度確認をおこなった。また写真測量では地形以外にも様々なデータが取得できるためそれらデータの可視化手法や数値シミュレーションでの活用可能性についても検討をおこなった。

2. 写真測量とデータ作成

写真測量は2022年10・11月に行った。UAVによる写真測量からDEMデータの作成までのプロセスを整理した。実証範囲と評定点は図-2のようになっている。

3.1. UAVを用いた写真撮影

撮影はDJI社製MAVIC PROを用いて行った。写真測量で多く用いられるUAVは同社製の測量業務用機種であるPhantom 4 RTKやMavic 3Eであり、一般・映像制作向けであるMAVIC PROやその後継機種Mavic 3はあまり用いられない。DJI社ホームページ内の各機種スペックに関するページ⁵⁾、⁶⁾を比較すると、業務用機種の優れている点としてはカメラ性能とRTKの搭載の2つがあげられる。カメラ性能としては、より大きなズーム倍率・高速インターバル撮影・メカニカルシャッターの搭載が差となり、効率よくブレの少ない撮影が可能で

ある。



図-1 実験対象地点鳥瞰図



図-2 測量実施範囲と対空標識設置⁷⁾

また、RTKの搭載により誤差の小さい位置情報を撮影時写真に与えることができるため、後述する対空標識の設置を無くしたり少なくなったりすることができる。本研究ではそれら差異を認識した上でMAVIC PROを利用することとした。

評定点用の対空標識としてはエアロセンス株式会社製エアロポマーカーを用いた。こちらは、GNSS機能を搭載した対空標識である。設置点は図-2のように4点である。図-2のように色の異なる3つの範囲をiPadアプリDJI GS PROを用いて自動操縦により撮影した。コース前後左右重複率は80%とし黄色のルートにおいては高度約40mで俯角90°で撮影を行い、ほかのルートでは高度約35mで俯角80°で撮影を行った。なお撮影は水面への反射・映り込みが少ない晴れた日の正午ごろに行った。

3.2. 点群モデルの作成

小型UAVで撮影した写真とその位置情報をAgisoft社製Metashape Professional ver1.8.4を用いて解析⁸⁾した。



図-3 点群モデル

解析は写真の入力・写真のアラインメント・評定点の対空標識のマーカの設定・高密度クラウドの構築の順番で行った。また、この間にカメラの最適化を何度もはさんで行った。アラインメントの精度と高密度クラウドの構築の品質は最高に設定し、評定点については、対空標識の写っているすべての写真のマーカを打ち込みなおし設定した。なお、比較用の対空標識を用いない点群モデル作成時はマーカの設定を行っていない。

3.3. DEM への変換

前節でできた点群モデルは写真に写った表面の高さを示す DSM(数値表層モデル)であるが、実際に水位・流速等を計算するために必要であるのは DSM から樹木や建物を消した地面の高さを示す DEM (数値標高モデル)である。河川に関する測量で多く使われるレーザー測量を用いて作成された点群モデルでは ESRI 社製 ArcGIS を用いて DEM を簡単に作ることができるが、今回の実験においては写真測量のため ArcGIS や Metashape の自動で樹木を区別する機能では明らかに十分の精度がなかった。そのため、信頼度が特に低い点を消したうえで樹木については Metashape をもちいて手で削除を行った。図-4 の赤色部分が樹木部として手で消した範囲となっている。

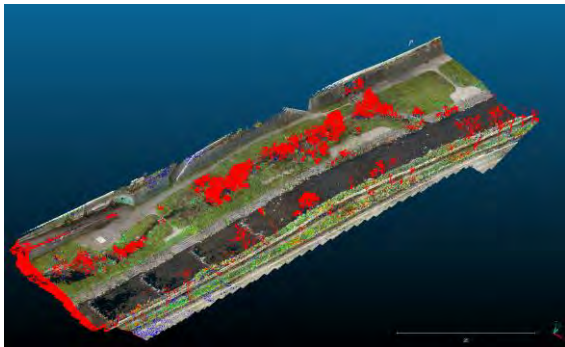


図-4 樹木削除前後比較

4. 測量結果の検討

作成した DEM や DSM を官公庁の作成した DEM と比較し、精度や有用性について検討を行った。

4.1. DSM の正確性

今回の実験で作成した DSM と北海道札幌建設管理部が今年度航空レーザー測量で作成した DSM を比較し、今回の実験で作成した DSM の正確性について検討した。実際に計算に用いる DEM ではなく、DSM で比較を行

Approximate distances (56950905 values) [8 classes]

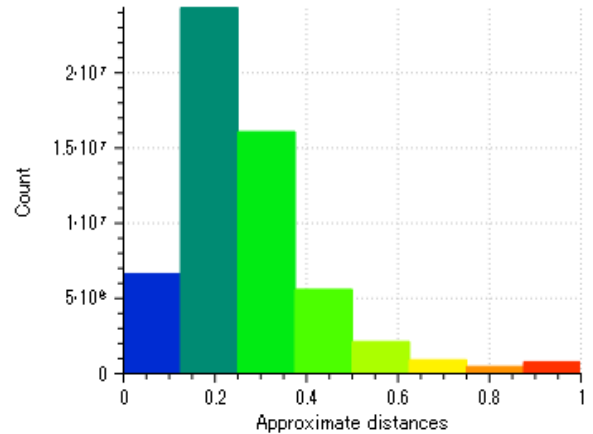


図-5 写真測量とレーザー測量のデータ差の大きさ分布

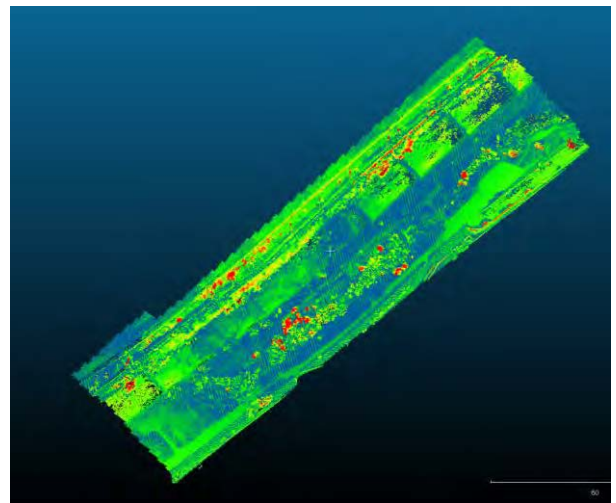


図-6 写真測量とレーザー測量のデータの差異

った理由は、異なる方法で DEM への変換を行っており、変換方法による差を反映しないためである。比較は LAS 形式の DSM を CloudCompare v2.12.4 に入力し行った。

図-5 が差の大きさの割合を示したグラフであり、図-6 が各地点での差異を表したものである。約 54%の点において差は 0.25m 以下、約 89%点において差が 0.50 m 以下となった。高水敷の樹木の少ない部分では差が小さく、逆に低水路・樹木部では差が大きくなった。差が大きくなった部分については、測量で差が発生したこと以外に樹木の成長・落葉・流量の変化といった測量対象自体の変化も考えられることには注意が必要である。さらに、差が大きくなった低水路・樹木部は他の場所に比べて点群の密度が低いこと、実際に計算するときにはメッシュ化を行うことから、同様の比較を 1m メッシュの CSV ファイルでも行った。結果としては、差の大きい部分と小さい部分の割合が大きく増えた(図-7)。差が大きくなった部分は右岸側と高水敷の樹木部であり、これは図-4 において赤くなっている DEM とするとき削除する場所付近と重なっており、実際に計算する際に

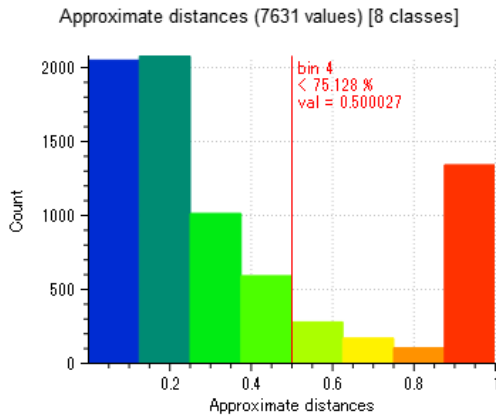


図-7 メッシュでの差の大きさ分布

は差は小さくなると考えられる。また、低水路と高水敷の樹木の少ない部分の差は0.5m以内となっている。これらのさらに詳細な差は次節において調べる。

4.2. DEMの正確性

実際に計算に用いるデータであるDEMについても比較を行う。こちらは前節と同様の北海道が今年度行った航空レーザー測量をもとに作成された1mメッシュのDEMのほかに、国土地理院が基盤地図情報サイトで公開している2018年に測量された5mメッシュのDEMも用いる。

低水路と高水敷において縦断面を作成すると図-8のようになった。これらを比較すると、全体的に今回作成したDEMは標高が低めにでていた。

写真測量で作成したDEMと国土地理院のDEMの概形を比較すると、一番正しいと考えられる北海道のデータと近いのは、写真測量で作成した方であると見え、同じ位置における標高差の2乗平均も表-1のようになり写真測量のほうがよいため小さいため、やはり写真測量で作成したDEMのほうが比較的正しい結果が得られているといえよう。

表-1 標高差の2乗平均

| | (写真—北海道) ² | (国—北海道) ² |
|-----|-----------------------|----------------------|
| 低水路 | 0.05740 | 0.06793 |
| 高水敷 | 0.04589 | 0.06218 |

4.3.対空標識の有無による正確性の変化

4.1と同様にDSMをもちいて、同じ写真を用いて評定点として対空標識を用いた場合と用いなかった場合の作点群作成された点群モデルについて比較をおこなった。図8からもわかるように実際の標高は60m付近であるが、評定点を用いない場合標高は-9mほどとなった。対空標識をつかわずに何度か練習を行っていたためこれらのデータでの標高を調べたが約-42mや約17mとな

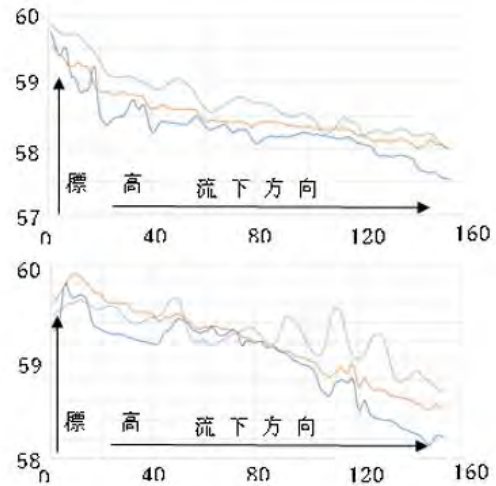


図-8 縦断面図 (上・低水路、下・高水敷)

青：写真測量 橙：北海道 灰色：国土地理院

っていたりする。以下表-2が今回の実験で下流方向から1.3番目に評定点を置いた場所付近の標高として出力された数字一例である。標高も標高差も大きく異なり、評定点がないと高さ方向の誤差がとても大きくなったことがわかる。

表-2 算出された標高

| | 標高1 (一番下流側の評定点付近) | 標高2 (下流から3番目の評定点付近) | 標高2-標高1 |
|---------------|-------------------|---------------------|--------------|
| 1 評定点あり | 58.6007 | 59.4445 | 0.8438 |
| 2 1と同じ写真評定点なし | -9.712464796 | -9.429174005 | 0.283290791 |
| 3 評定点なし① | 18.11040544 | 16.95793423 | -1.152471212 |
| 4 評定点なし② | -46.58673617 | -45.01469541 | 1.572040756 |

次に、高さ以外の座標についての差も調べるために、同じ写真を用いて評定点として対空標識を用いた場合と用いなかった場合の作成された点群モデルをCloudCompareに入力して各点付近での差の大きさを調べた。なお、標高については一番下流側にある評定点付近の標高が同じになるように、評定点を用いずに作成したモデルをz軸方向に68.31mだけ移動させた。この比較結果が図-9のようになった。こちらを見ると、標高約40%を超える地点にて点群間の距離が0.5mを超えた。これは4.1で求めた北海道による測量結果と対空標識を用いた写真測量の差よりも大きな差がある状態といえる。

5. 考察

4.1、4.2において、樹木部を除くと低水路において北海道のレーザー測量と比べ測量に小さいほうに差があるが、差の大きさ自体は0.5mを下回っていることがわかった。こちらの理由について、レーザー測量は水面の標高のデータを取っていたが、写真測量では川底の様子をとれていたことがあげられると考える。これは、低水路より高水敷のほうが基本的に差が少ないことや、低水路でも限界水深になり深さが浅くなる段差付近では差が小さくなっていることからわかるであろう。このような写真測量により川底の高さを得た場合の処理方法については神野ら(2018)⁹⁾や原田ら(2016)¹⁰⁾において提案されている。

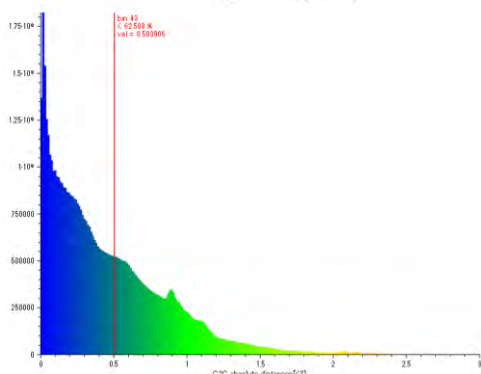


図-8 評定点有無による差の大きさ分布

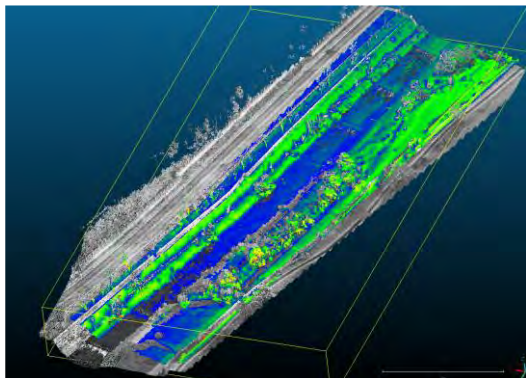


図-9 評定点有無のデータの差異

4.2 における理由の不明な差としては、低水路・高水敷両方の下流端があげられる。どちらも 120~125m のあたりで差が急激に大きくなっているが理由を解明することはできなかった、

4.2 の結果より、一般向けの UAV で撮影した場合でも、対空標識による評定点があれば一定以上の精度で測定でき、一般に公開されている国土地理院が基盤地図情報サイトのデータと比較しても、少なくとも豪雨時等を想定した水位・流速を計算を行う点においては有用性が見込めるであろう。

評定点を用意する場合、基本的に評定点の位置を測量することが必要で、初心者には障害となる。そこで、より容易に測量を行えばと考え、評定点を用いずにモデル作成を行ったがこちらは高さ方向を中心に誤差が大きくなってしまい、これでは計算に用いることは困難である。これは、一般向けドローンに搭載されている GPS の誤差の問題であり、一般的に知られている GPS の高さ方向の測定の弱さが露呈したと考えられる。この点、神野ら (2019)¹¹⁾ や小室ら(2019)¹²⁾ によると業務用小型 UAV に搭載されている RTK-GNSS を用い適切に撮影・処理を行えば評定点を設置しなくても十分な精度を出すことができる場合があるとの報告があり、河道付近では対空標識を置くことが難しいこともある多々あるため、可能であれば RTK-GNSS を用いた UAV を使用することが望ましいことが確認できた。

6. まとめ

一般向けの UAV を用いた写真測量でも対空標識を適

切に用いれば、ある程度精度があり有用性のあるデータを取ることができることが分かったが、対空標識を複数個用いることは必要であることが確認でき、これは業務用 UAV に劣ってしまうのは明らかである。

撮影方法にさらなる工夫を加えることで誤差を減らせると考えられるため、様々な方法を試しできる限り簡易に高い精度で測量を行える方法を模索していく必要がある。

7. 謝辞

本研究を実施するにあたり北海道札幌建設管理部殿には琴似発寒川のレーザー測量データの貸与をはじめ、様々なご協力をいただいた。ここに謝意を表する。

8. 参考文献等

- 1) 国土地理院.“基盤地図情報数値標高モデルについて”. 基盤地図情報ダウンロードサービス. https://fgd.gsi.go.jp/download/ref_dem.html, (2022-12-12)
- 2) 国土交通省.“トップページ”. 水工水文データベース. <http://www1.river.go.jp/>, (2022-12-12)
- 3) 国土政策局国土情報課.“国土数値情報ダウンロードサービス”. GIS ホームページ. <https://nlftp.mlit.go.jp/index.html>, (2022-12-12))
- 4) “d4PDF とは”. 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース. <https://www.miroc-gcm.jp/d4PDF/about.html>, (2022-12-12))
- 5) DJI. 「DJI Mavic PRO スペック」. <https://www.dji.com/jp/mavic/info#specs>, (参照 2022-12-10)
- 6) DJI. 「DJI Mavic 3 Enterprise シリーズ スペック」. <https://ag.dji.com/jp/mavic-3-m/specs>, (参照 2022-12-10)
- 7) 国土地理院撮影の空中写真 (2008 年撮影) を加工・各種情報を追記作成
- 8) 神野有生, 2022. 空中測量研究室の技術ノート, URL: <https://ameblo.jp/rs-algorithm-designer/>.
- 9) 神野有生ら, 2018. UAV と SfM-MVS を用いた河床冠水部の写真測量のための水面屈折補正係数に関する検討, 河川技術論文集, 第 24 巻,
- 10) 原田ら, 2016. UAV と水域可視化処理による河川地形計測手法の検討. 河川技術論文集, vol.22, pp.67-72
- 11) 神野有生ら, 2019. UAV 写真測量の SfM における斜め撮影の効率的配置, 標定点の省略可能性, 水の影響と対策に関する検討. 日本写真測量学会学術講演会発表論文集, 5-8
- 12) 小室隆ら, 2019. RTK-GNSS 搭載型 UAV による複数天底角・複数高度撮影に基づく標定点を用いない河道写真測量. 河川技術論文集, vol.25, pp.237-242