

UAV 画像撮影により得られた DTM の集水予測精度に関する研究

宮崎大学 櫻井 倫

はじめに

技術の進展と普及にともない、森林分野、治山分野での UAV(無人航空機)を用いた調査はすでに一般化しているといえる。なかでも、森林資源(蓄積)の把握、無人施工(i-Construction)のための地形モデル作成、崩壊地の様相の把握などに活用されている。LiDAR システムを搭載した UAV を飛ばして点群データを取得し、DTM、DSM を作成して地形や樹高を把握することは広範に行われている。しかし、UAV に搭載する LiDAR システムは安価になってきたとはいえ航空機込みで数百万円と高価であり、また UAV の機体も大型であることから、しっかりと飛行計画を立ててデータ取得を実施する必要がある。

一方で、UAV に搭載した光学カメラで連続的に撮影した写真どうしを対照点を見つけることで結合し、点群データを作成してオルソフォトおよび DSM を作成する、SfM と称される手法もある。SfM では光学情報のみを用いてデータを取得するため、鬱閉した林冠の下のデータを上空から取得するといった、「見えない」箇所の情報を得ることは原理上不可能であるが、裸地や草地では十分な地形情報を得ることが可能である。また、小型の UAV でも撮影が可能であるため、より手軽なデータ取得が可能である。

そこで本研究では、SfM によって取得した点群データから作成した地表 DTM の精度を LiDAR によって得られた DTM と比較するとともに、SfM により得られる DTM の精度を変えて、その実用性について検討した。具体的には、作成した DTM を用いて斜面方位を求めて表面流を解析し、斜面上部から切取法面を通過して作業道に水が流入する箇所をそれぞれ予測した。さらに両者の成果を比較し、実際の道路における水の流入状況とも対比することで、林内道路における防災への活用可能性について検討した。

手法

本研究では SfM によって航空写真から得られた DTM と LiDAR により得られた DTM を比較する。いずれも、まず点群データを取得し、そこから DTM を算出した。点群データは LiDAR については宮崎市が定期的に行っているレーザー航測によるデータを使用した。一方、SfM では DJI 社製 UAV である DJI Air 2S を使用して飛行高度約 30m で画像を撮影し、これを SfM 処理ソフトである Pix4D Mapper により処理して点群データを取得した。

このうち、LiDAR から得られた点群データでは、同じレーザーを遠近両方の物体が反射することで得られるファーストパルス、ラストパルスという概念があり、ラストパルスのみを用いることで比較的容易に地上の点だけを抽出することができる。本研究でもラストパルスのみを抽出した点

群を使用し、GIS ソフトウェアとして QGIS 3.28 の機能を用いて点群から 1m 解像度メッシュの DTM を得た。

一方、写真画像から点群データを作成する SfM ではそのような概念はなく、点群データの個々の点は色彩情報と座標情報のもを持っているため、「これは地上の点」「これは高所の点」といった判別はできない。平地であれば「標高が一定の範囲内」などの条件で地表の点を抽出することも可能であるが、傾斜地では難しい。そこで本研究では、先に一定解像度のメッシュを作成し、



図一 点群から DTM の作成: メッシュは 50cm。各メッシュに含まれる点のうち、標高(数字)が最も低い点の値をそのメッシュの標高とする。

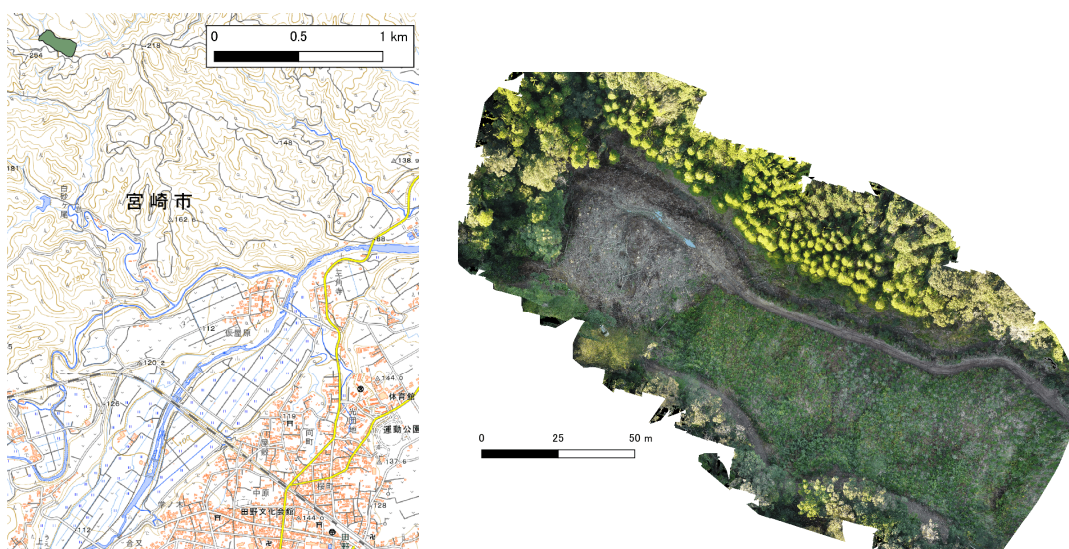
各メッシュに含まれる点群のうち標高が最も低い点の標高をそのメッシュの標高とする、という手法により DTM を作成した(図一1)。メッシュの解像度は 10cm, 50cm, 1m の 3 通りを設定した。

流水の状況を予測する手法としては、Freeman(1991)が提案し、QGIS のプラグインである SAGA(System for Automated Geoscientific Analysis, The institute of Geography, Section for Physical Geography, at Klimacampus and University of Hamburg 開発)に搭載されている Multiple m_Flow Direction 法を用いて、QGIS 上で Catchment area(集水面積)を求めた。集水面積が大きいメッシュは当然にそのメッシュに流れてくる水の量が大であることを示していることから、集水面積を水流の多寡の指標とした。

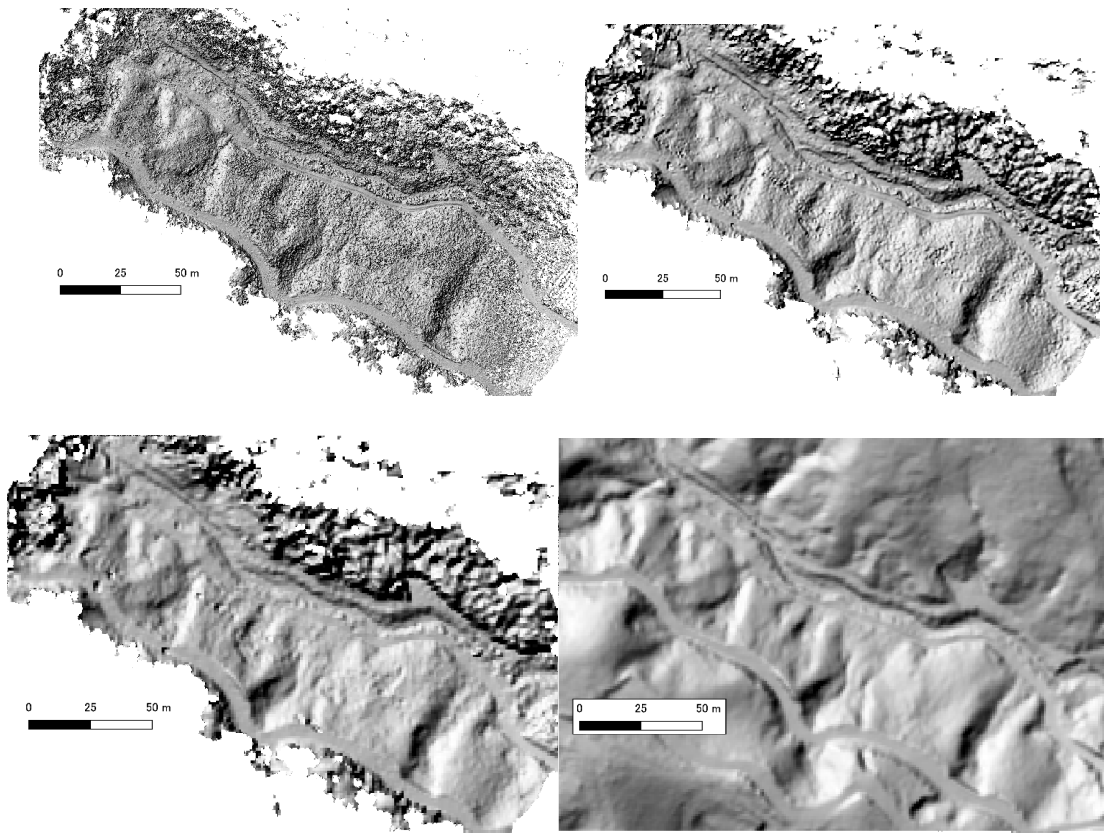
対象としたのは宮崎大学農学部附属田野演習林の 21 林班に 4, 5 小班である。位置およびオルソ画像を図一2に示す。に 4 小班は 2022 年度, に 5 小班は 2021 年度に皆伐を実施し, それぞれ翌年度に再生林を行った。なお, ドローンによる空撮は 2022 年 12 月の皆伐直後に行った。今回対象とした林分は南側の中腹林道(以下,「林道」と北側の谷筋作業道(以下,「作業道」)には含まれる。図一2では林道は南側の林縁木の樹冠に隠れて確認できないが, 作業道は明瞭に確認可能である。地形は南西から北東に向かって下っており, 作業道の北側に沿って谷川が西から東に流れている。この斜面を南から北に流下する水流について分析した。

結果

まず, 作成した DTM を用いて描画した対象地の陰影図を図一3に示す。当然ながら解像度が高い, すなわちメッシュサイズが小さいほど地形が精密に描かれ, 水流の予測精度も高いように



図一2 対象地の位置と様相(オルソフォト)

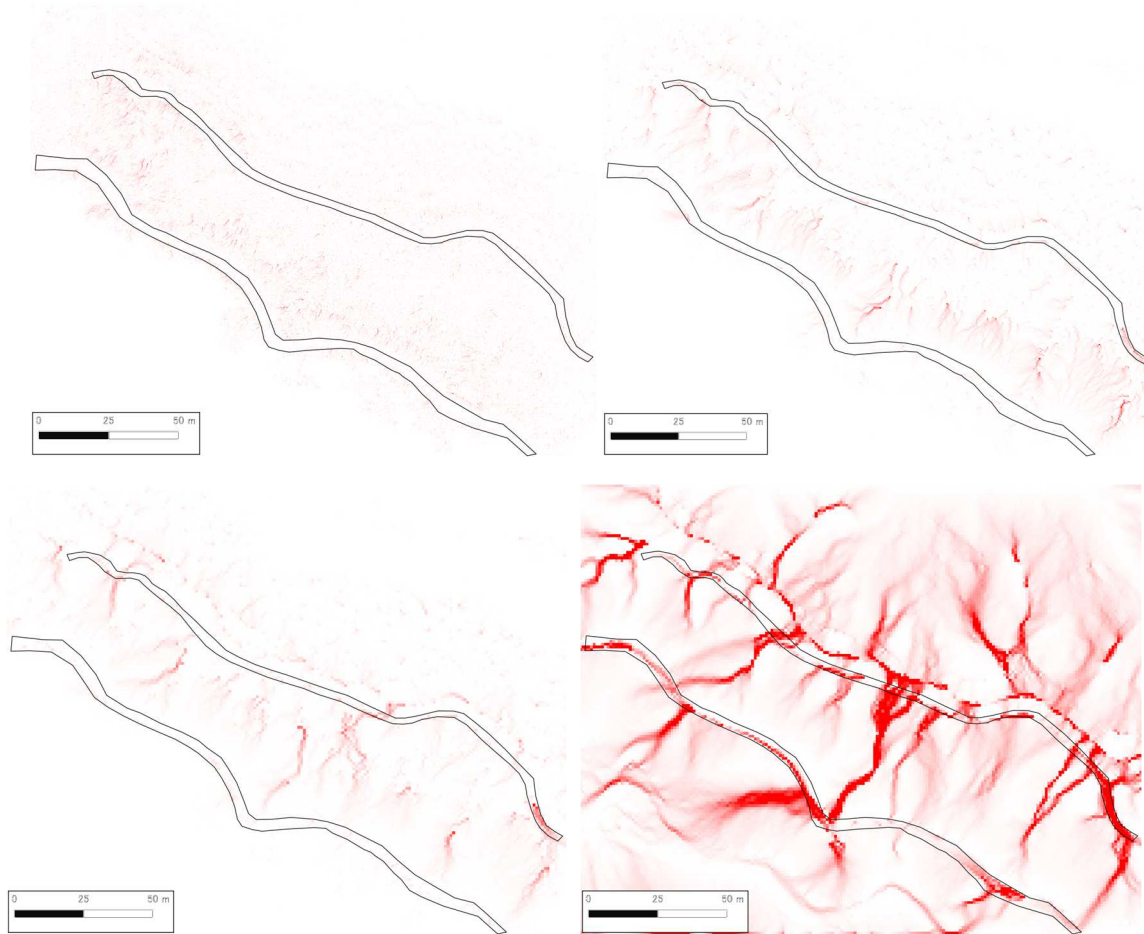


図一3 対象地の地形(左上からメッシュ解像度 10cm, 50cm, 1m, LiDARによる 1m)

思われた。

次に、DTM から得られた各メッシュの集水面積を図一4に示す。図に示すように、10cm メッシュでは斜面を流れる表面流のほとんどが途中で止まっており、作業道に流出する水流がほとんど見られなかった。これは、たとえば転石や散乱した枝条などにより周囲よりも凸となったメッシュが多く、それ以上水が進めない、という判定になった箇所が多かったためと考えられる。逆に解像度 1m のメッシュでは、同一メッシュ内にそのような物体ではない、純粋な地表面をとらえた点が多量に存在し、地上の傾斜を正しく表現していたものと思われる。その正誤については後段で検討するが、結果的に、精度が粗いメッシュのほうが予想される表面流発生箇所を鮮明に表すことができていた。

さらに細かくみると、対象隣地の西側約 1/4 と斜面の上方すなわち南側の道路に近いほうでは表面流が比較的長く存在しているため「流れ」が確認できるものの、東側 3/4 の斜面下方では流れの形成すらも見られなかった。このうち西側 1/4 で長い流路が存在できた理由としては、西側はオルソフォトから確認できるとおり皆伐が終了した直後であり、障害物は多く存在しているもの

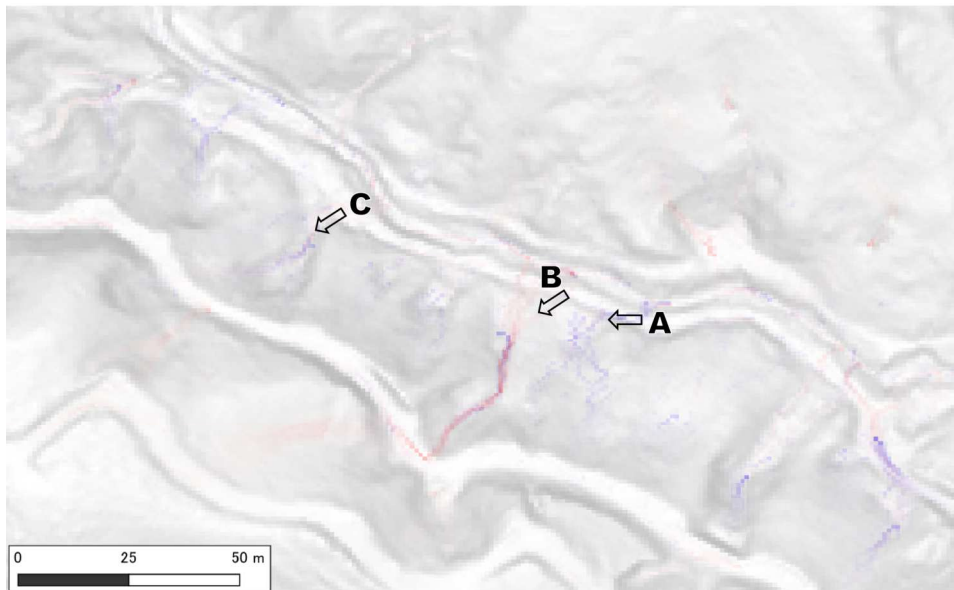


図一4 DTM から予想した集水面積(左上からメッシュ解像度 10cm, 50cm, 1m, LiDAR による 1m, 赤が濃いほど集水面積が大=水が集まる)

の地表が比較的露出していたため、短いものの流路が形成されたと思われる。一方、東側 3/4 の斜面上下でこのような差がでた理由は不明であるが、斜面下部のほうが土壌中の水分が多かったために下草が繁茂し、地形の表現がより曖昧になっていたものと推測される。

また、同じ解像度 100cm の SfM から得たデータと LiDAR から得たデータを比較すると、どちらも鮮明な表面流の予測が得られた。SfM から得られた予想では高精細なデータと同様に流路が途中で止まる箇所が多く見られたが、流路はより長くなっており、また LiDAR の DEM から得られたものとはほぼ同一の箇所に流路が予想されており、濃淡に差はあるものの作業道への流入箇所はほぼ同じであった。一方、林道から流出する箇所については SfM によって得られた DEM では林道よりも斜面上側をほとんど表現していないこともあり、判別は不可能であった。

作業道への流入箇所とされた場所を実際に確認すると、図一5～8 に示すとおり、予想された流入箇所においては数日間の晴天のあとであったにもかかわらず水が浸出しており、推測結果と実



図一5 撮影箇所

際の流入箇所はほぼ一致していた。令和 2 年度の調査研究報告で、高精度 DEM と実際の路面流入の傾向は一致しないとの結論が得られていたが、より大面積の流域、データを用いることで流入箇所の精度が高まっていたと考えられる。

考察

本研究では SfM により生成した作成した DTM と LiDAR により生成した DTM を用いて、集水面積を計算することで表面流を予測し、両者による結果を比較した。前節で述べたとおり、SfM から DTM を生成した場合、表面の枝条や下層植生、また苗木の影響で地表面が正確に見通せず、凹凸が多いものとなった。集水面積の計算においては、周囲の標高がすべて当該メッシュよりも高くなっている、窪地のメッシュがあると、そこで水流が止まってしまい、流路の正確な予測ができなくなる。SfM の場合、前述のような理由で正確な各メッシュの標高を求めることが難しくなったものと思われる。あるメッシュに含まれる点群のうち最も低い標高である点をそのメッシュの標高すなわち代表値とすることで、光学情報



図一6 予想流入地点の写真(図一5 A 地点)

のみに頼る弱点の補正を試みたが、良好な成果を得ることはできなかった。SfM の特性上、下層植生の陰などの、写真で見えてはいても特徴点が検出できない箇所においては、点群を構成する点が設定されず、点群データ内に地表を反映できない。そのため、とくに稚樹が密に植栽されている新植地において、見えている地表のほとんどが陰となり、うまく水流を再現できなかったものと推測する。

本研究により LiDAR の正確性、有用性があらためて示された形となったが、地表ではなく見えている表面、すなわち DSM を得ることが重要である立木の資源量調査や、ほぼすべての対象地地表面が明瞭に見える崩壊地の調査においては SfM による点群データ作成が有用であることには変わらない。両者を併用しつつ、より安価な手法を模索することが必要であると考える。



図一7 予想流入地点の写真(図一5 B 地点)



図一8 予想流入地点の写真(図一5 C 地点)