緊急時の観測機器の設置地点選定を目的としたUAV飛行計画の効率化

国際航業株式会社　○北原遼太，島田徹，永田直己，皆川淳，金崎裕之
株式会社イームズラボ　銭谷彰

1. はじめに

火山噴火時は，火山灰等の堆積によって平常時より少ない雨量でも土石流（降灰後の土石流）が発生しやすくなる．そのため，降灰後の土石流の被害を軽減するために渓流の降灰状況や雨量を観測する必要がある．しかし火口周辺は立入制限区域内となるため，火口近傍に源頭部をもつ渓流については遠隔からの迅速な降灰状況の把握が求められる．近年では遠隔地からの降灰状況等の確認手法として，無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle，以下UAV）の活用が期待されている．

永谷ほか（2019）では，UAV空中写真のSfM（Structure from Motion）解析で作成した3次元データの地形情報や，地表植生の有無を示す色情報を基に，観測カメラの設置可能領域の抽出手法を報告している．同報告では，立入制限区域外から迅速に降灰・土砂移動状況を確認する手法として，制限区域内にカメラ等の観測機器を運搬する方法も検討されている．一方で火山噴火時には迅速な現地状況把握が必要となることから，3次元データの取得に必要なUAV空撮とSfM解析に要する時間の低減が課題となっている．

そこで筆者らは，緊急時の設置可能領域の抽出における課題の解決を目的として，①UAV飛行経路の間隔変更によりサイドラップ率（以下，SL）を調整し，②撮影写真の等間隔抽出によりオーバーラップ率（以下，OL）を調整することで，撮影飛行を短縮しつつ，3次元地形データを取得できる飛行計画を検討した．

2. 実施した場所と飛行計画

本研究は，群馬県と長野県の県境浅間山の東側に位置する小浅間山と，浅間山から東北東に位置する片蓋川砂防堰堤施工現場でUAVによる空中写真撮影を行った．撮影範囲は小浅間山で0.5km²　，片蓋川の施工現場では0.3km²程度である．空中写真の撮影には，株式会社イームズラボ社製UAV　LAB6106FLを使用した（図 1）．

UAV飛行ルートは空中写真のSLが30，50，80%となる3つのルートで実施した．飛行時間等は以下の表 1に示す．

図 1：UAV機体

表 1：サイドラップ率ごとの飛行時間

	小浅間山		片蓋川	
	飛行時間	飛行回数	飛行時間	飛行回数
SL30%	17分	1回	10分	1回
SL50%	20分	1回	14分	1回
SL80%	56分	4回	31分	2回

相対対地高度	100m
地上解像度	2cm
撮影間隔	1枚/s
飛行速度	7m/s

※撮影間隔・飛行速度は相対対地高度100mでOL93%となるように設定.

3. 解析手法

SfM解析には，Pix4D社製ソフトウェアPix4Dmapperを使用し，オルソ画像とDSM（Digital Surface Model）を作成した．SfM解析に使用する空中写真はSLを30，50，80%，OLを30，50，80，93%と変化させ，12通りの組み合わせで実施した．図 2は，ラップ率の最も高いSL80%・OL93%の空中写真から作成したオルソ画像である．図中の赤枠が対象とした撮影範囲となる．なお本研究では「UAVを用いた公共測量マニュアル（案）」の三次元点群作成用の空中写真撮影の場合の要件を満たすことから，SL80%・OL93%で作成したDSMを後述する差分解析比較の基準データに用いた．

得られたDSMはESRI社製ソフトウェアArcGISを用いて，同一地点の標高差分解析を行った．ただし，作成したDSMのうち，撮影範囲内で欠損が認められるものは，地形情報の取得不十分とし，効率化検討の対象外とした．差分解析は”任意のSL・OLにより作成したDSM”と”SL80%・OL93%”のDSMを比較した．差分解析の手順として，作成した各DSMを撮影範囲でクリップし，撮影範囲外のDSMは比較の対象より除外する．その後SL80%・OL93%のメッシュサイズに合わせてその他のDSMを共1次内挿法によるリサンプリング処理を行い，差分解析を実施した．

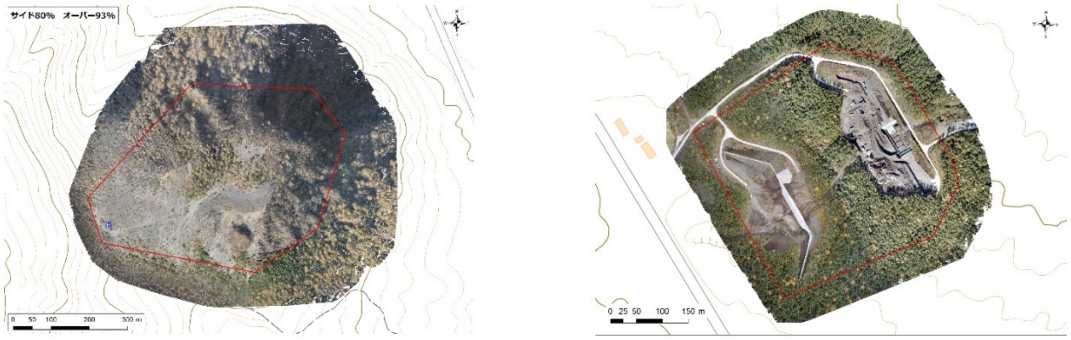

図 2：作成したオルソ画像（左図 小浅間山　右図 片蓋川）

4. 結果

上記の手法により作成した結果を図 3 に示す．

図ごとに示される時間は，UAV 飛行時間と Pix4Dmapper の解析時間の合計を示す．SL・OL が増加することに伴い，使用する写真枚数も増える事から解析時間は増加する（表 2・表 3）．

表 2：小浅間山での写真マッチング数

SL＼OL	30%	50%	80%	93%
30%	28/92	64/132	250/306	917/918
50%	33/106	76/151	246/352	1021/1055
80%	200/288	307/410	846/954	2849/2856

表 3：片蓋川での写真マッチング数

SL＼OL	30%	50%	80%	93%
30%	44/50	64/71	154/164	492/492
50%	64/71	88/101	229/236	707/707
80%	132/152	197/217	492/505	1514/1514

※分子はマッチング枚数，分母は実際の撮影枚数

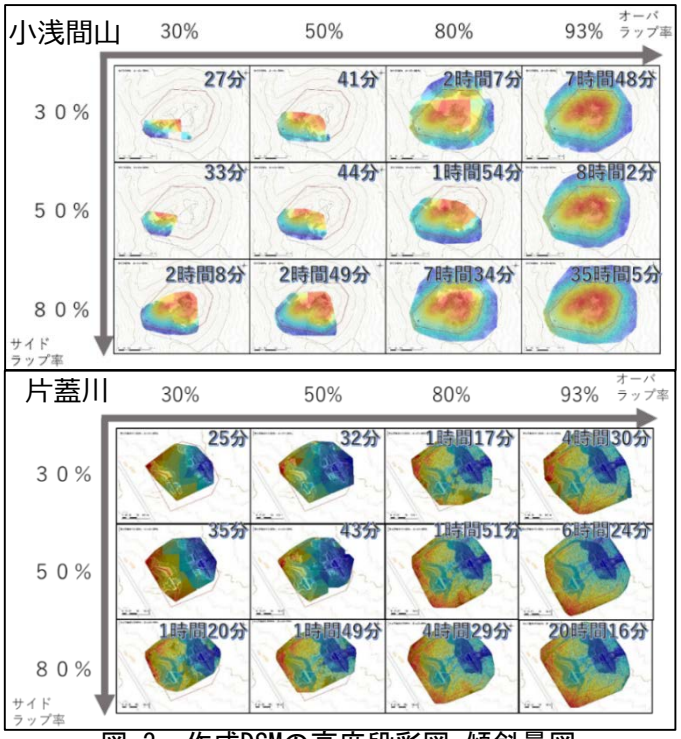

図 3：作成DSMの高度段彩図 傾斜量図
（上図 小浅間山 下図 片蓋川）

OL80%の SfM 解析は，片蓋川ではすべての SL で撮影範囲全体の作成ができたものの，小浅間山では，SL30%・50%では 3 次元データの欠損が確認された．

OL93%では小浅間山･片蓋川ともすべての SL において，撮影範囲内の DSM を作成することができた．OL93%の DSM 作成に要する時間を比較すると，SL30%は SL80%の 4.5 倍速く，SL50%は SL80%の 3.2～4.4 倍速く解析を終えた．

例として“SL30%・OL93%” と “SL80%・OL93%”の差分解析結果を図 4 に示す．裸地や砂防堰堤の範囲では差分値が±1cm 範囲内に収まり，植生部では±20cm の差がみられた．なお，SL50%・OL93%でも同様の結果が得られた．

5. 考察

各 SL・OL93%で作成した DSM では小浅間山・片蓋川ともに撮影範囲内を網羅することから，SfM 解析による DSM の作成は，SL より，OL に影響されると考えられる．OL の違いは写真を間引くことにより生じる一方で，SL の違いは飛行コース間隔により生じることから，緊急時の UAV 飛行時間を低減できる．

3 次元データの結果より，植生部では±20cm の誤差が生じたものの，観測機器の設置可能領域の算出においては，植生部は適地から除外される．その他地点においては差分が±1cm の範囲にあることから，SL30%・OL93%，SL50%・OL93%で作成した DSM を用いることにより，設置可能領域算出の効率化を図れると考えられる．

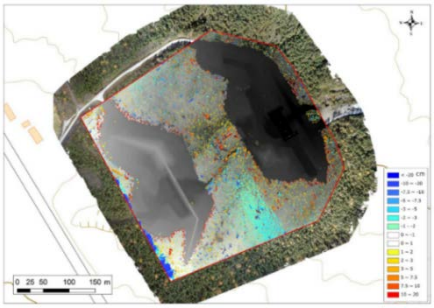

図 4：差分解析結果（片蓋川）

6.今後の課題

今回の計測対象面積（0.3~0.5km² 程度）では，OL93%の条件で，SL30%の SL50%に対する時間短縮効果が UAV 飛行時間で 3～4 分程度，解析時間で 10 分程度（片蓋川）~2 時間程度（小浅間山）であった．引き続き，機器設置可能領域の抽出精度と撮影・解析時間のバランスを考慮した SL，OL を検討する必要がある．さらに，植生や計測面積等の調査地域条件に対して，必要精度を確保しつつ，空撮から領域抽出までの一連の実施時間が極力短時間となる効果的な飛行計画の検証を進めていく予定である．

7. まとめと謝辞

Pix4Dmapper を用いて作成する DSM は，SL30%・OL93%，SL50%・OL93%で撮影範囲の地形状況を取得することができた．緊急時の観測機器設置可能領域の抽出では，SL を調整することで UAV の飛行から SfM 解析までの効率化を図れる可能性が示唆された．

本研究は河川砂防技術研究開発地域課題分野委託からの支援により実施できた．また，利根川水系砂防事務所には，現地試験実施のために関係機関と調整をして頂き，ここに厚く御礼を申し上げる．

【参考文献】

永谷圭司，清水寛子，銭谷彰，金崎裕之，島田徹，皆川淳，森山裕二，“飛行ロボットで運搬する観測カメラの設置点計画と設置試験”，第 19 回建設ロボットシンポジウム，p.14，2019.