

小型無人航空機による積雪・吹き溜まり観測手法の開発に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 29～平 30

担当チーム：雪氷チーム

研究担当者：伊東 靖彦、高橋 渉

【要旨】

道路などの防雪対策の検討にあたって、事前に対象箇所の吹雪や雪崩の規模を見積もることが重要である。積雪期を通じて、あるいは吹雪や雪崩の事象の発生直後などに吹き溜まりやデブリ量の計測が行われている。しかし手間がかかるほか、面的な変化を捕えることが困難である。

近年、小型無人航空機(UAV)は安価で実用的となり、急速に普及している。UAV で撮影した 2D 写真を基に地形を再現する手法は安価であり、雪氷分野においても積雪の観測に有用と考えられるが、その信頼性や計測方法は確立されていない。そこで本研究では、小型無人航空機による積雪観測手法について、その精度と効率を確保できる観測手法の開発を目標に調査を行った。

キーワード：積雪、吹き溜まり、無人航空機、UAV

1. はじめに

道路などの防雪対策の検討にあたって、事前に対象箇所の吹雪や雪崩の規模を見積もることが重要である。そこで吹き溜まりやデブリ量の計測が積雪期を通じて、あるいは吹雪や雪崩の事象の発生直後などに行われている。これらは地上からレベルなどの測量機器を用いて雪面高を計測することによって行われる。しかし手間がかかるほか、面的な変化を捕まえることが困難である。

近年、小型無人航空機(UAV)は搭載電池の高性能化、GPS との連動、量産化、搭載するデジタルカメラの小型化、高機能化、飛行や撮影を制御するソフトウェアの開発、進展などに伴い、安価で実用的となり、急速に普及している。UAV で撮影した 2D 写真を基に点群データを作成する SfM(Structure from Motion)技術により地形を再現する手法は、従来手法である測量に比べて安価かつ効率的に地形情報を得ることができるため国土交通省が進める i-Construction の主要技術となっており、測量分野において急速に普及が進んでいる。

一方、雪氷分野においても UAV による積雪の観測は有用と考えられており、屋根上の積雪²⁾、山地の積雪³⁾、雪崩の痕跡⁴⁾などで研究が進められているが、信頼的かつ効率的な計測方法は確立されていない。

そこで本研究では、小型無人航空機による積雪観測手法について精度と効率を確保できる観測手法の開発を目指し、比較的観測事例⁵⁾の少ない道路周辺の吹き溜まりを想定して、実験場内の吹き止め柵周辺の吹き溜まり観測を行った。

2. 研究方法

寒地土木研究所・石狩吹雪実験場構内に設置された防雪柵(吹き止め柵)の周辺(図 1)において、吹き溜まり状況を撮影し、解析した。



図 1 石狩吹雪実験場内の撮影場所の状況

撮影は 2017/18、2018/19 冬期に 6 回、2019 年の無積雪期に 1 回撮影を行った。ここではこのうち天候など撮影条件が良好であった 2018 年 2 月 2 日の積雪撮影データと 2019 年 5 月 22 日の地盤撮影データを用いた。

撮影は DJI 製の無人航空機・カメラを用いた(表 1)。これらの機種は、比較的安価で高性能なため、家用、業務用問わず広く普及している機種である。

撮影高度は 2018 年 2 月 2 日が約 65m、2019 年 5 月 22 日が約 100m である。撮影時のラップ率は隣接方向 80%、撮影方向 60%程度を目安とし、使用した画像は

2018年2月2日が331枚、2019年5月22日が597枚である。2018年2月の撮影時には手動で機体の操縦および撮影を行い、2019年5月の飛行時はDJI GS PROを用いて、自動での操縦および撮影を行った。撮影範囲は120m*200m程度でこのうち、50m*120mを解析範囲とした(図2)。

防雪柵の周囲には、6カ所の対空標識を設置した。対空標識は積雪で埋没することを考慮し、高さ1mの足場を構築した上に設置し、座標値は別途GNSS測量により求めた。

撮影画像の処理には SfM ソフトウェアの Agisoft photoscan 1.3.4 と GIS ソフトウェアの Arc GIS 10.6.1 および ArcGIS 3D Analyst を用いた。

表 1 撮影に用いた機体等

撮影日	機体	カメラ
2018/2/2	DJI Phantom 4pro	(機体と一体)
2019/5/22	DJI Inspire2	DJI X5S

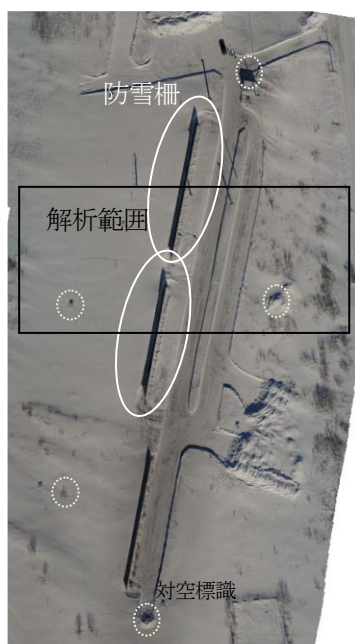


図 2 撮影範囲の全景
(2018/2/2 撮影写真を合成)

3. 研究結果

2018年2月2日の積雪面標高データ (DEM) を図3に示す。図中、左から右に向かって冬期の主風向である。黒の実線は防雪柵を示し、その左側(風上)に吹き溜まりが形成されていることが読み取れた。

白枠で囲んだ部分は、防雪柵の開開口部により積雪が吹き払われた部分である。従来は難しかった吹き溜まり

りの面的な分布を把握することができている。

さらに、赤枠で囲った部分は図2で示した対空標識を設置した枠組足場によってもたらされた吹き溜まりを示している。高さ1mのものであるが、その風下15m程度にわたって吹き溜まりが形成され、防雪柵による防雪柵風上の吹き溜まりまで連続している様子が把握できた。

図4は無積雪期に撮影した地盤線と積雪表面との高低差、すなわち積雪深を示したものである。積雪深0cm以下と計算された範囲は水色単色で示したが、本来存在しない積雪深0cm以下の部分が広い範囲にわたっている。またその多くは-0.3m~0mの範囲であった。比較的融雪後すぐの草本が繁茂する時期の前に撮影したが、地盤線として草本面を捕らえ、本来のよりも高い位置で地盤線を計測してしまったことによると思われる。また観測地の地盤は概ね平坦のため、図3と比較すると分かる通り積雪表面が高い箇所が積雪深も大きなものとなっている。

このように、厳冬期の白色の積雪時であっても、積雪面の標高を面的にとらえることができること、さらに従来把握の難しかった詳細な吹き払いや吹き溜まりの範囲や積雪深が把握できることが確認された。ただし、地盤線の計測では草本の影響に考慮する必要があることが課題と認められた。

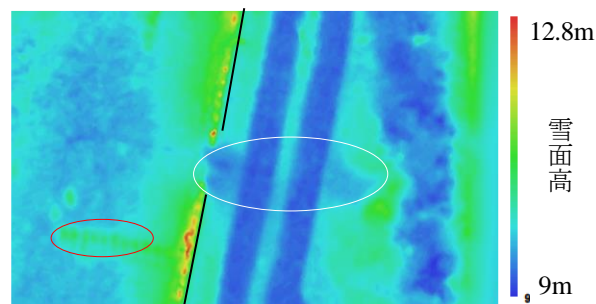


図 3 積雪面の DEM
(2018/2/2)

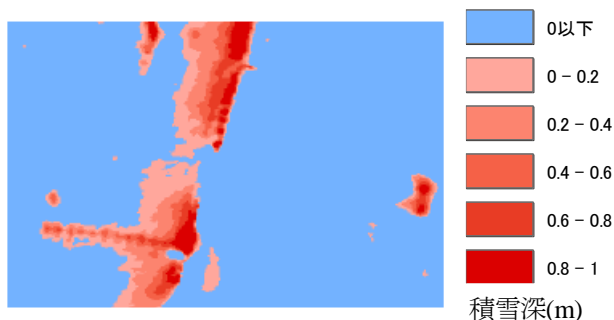


図 4 積雪面と地盤線との差分による積雪深
(2018/2/2 と 2019/5/22 データの差分)

4. 調査上で明らかとなった課題

(1) 天候上の制約での飛行困難があること

撮影計画をシーズン当初に概ね2週間毎に計画していたが、現地の降雪や強風により撮影できなかったことが度々あり、2018/19 冬期には連続4回撮影できない状況が続いた。

吹雪後の吹き溜まり状況を把握する、あるいは雪崩後のデブリ状況を把握すると考えた場合、デブリや吹き溜まりを含めた積雪は日射や温度の影響により変態しやすく、また圧密も土砂に比べて速いことから、吹雪や雪崩の事象後すぐに撮影を行う必要がある。しかし、天候によっては迅速な、あるいは十分な撮影ができない可能性が指摘できる。特に吹き溜まりの撮影場所においては、吹雪が常時発生する箇所であり、そこは一般に強風となる箇所であるため、撮影時間が限られる可能性が高い。

国土交通省の無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領によると「仕様上設定された飛行可能な風速」を確認することとされており、飛行できない風速の基準は無人航空機の性能に依存するが、実務的に「国土交通省航空局標準マニュアル」に準拠した運用がなされることが多い。同マニュアルでは「風速 5m/s 以上の状態では飛行させない。」こととされている。冬期の開けた場所では風速が 5m/s を超えることはよくあり、また風速 5m/s を超えると UAV 起動時の安定性が損なわれたり、飛行中機体が風に流されやすくなるほか、飛行中の空中停止が難しくなるため、撮影画像がぶれやすくなり、データから棄却される割合は高くなると考えられる。

(2) 時間的制約を受けること

可視カメラを使用する場合において、夜間撮影は現実的でなく、撮影は日中に限られる。なお UAV は、平成 27 年 12 月 10 日施行の航空法改正により原則日中のみ飛行できることになっている。

さらに、SfM において精度を高めるためには、空間的にも時間的にも均一の日射があることが望ましい。すなわち曇天が望ましく、晴天は影ができるため避けることが望ましい。

このように、積雪観測で UAV を用いようとする、時間的な観点での制約を受けることが多いため、吹き溜まりやデブリの調査においては、従前の積雪深や積雪の範囲を直接測定する方法を準備しつつ、条件が整えば UAV での調査を行う方法が適切であると考えられる。

(3) 積雪調査に適正な飛行方法

UAV に搭載されるカメラは単焦点のものも多いため、短時間での撮影のためには、飛行高度を高くして撮影範囲を広くしなければならない。撮影範囲を広くすると、1画素が示す精度を確保するためには画素数が多いカメラを使用しなければならず、機体が高額になり、一般的なものより大型の UAV が使用されることとなる。ところが、雪崩の調査の場合など車両の通行できる道路から離れた場所のことも多く、機材が大型になれば運搬に支障も生じる(図5)。

撮影高さ (飛行高度)	高	-	中	-	低
撮影範囲	大	-	中	-	小
撮影時間	長	-	中	-	短
カメラの 必要性能 (画素数)	高	-	中	-	低
必要な機体	大	-	中	-	小

図5 撮影高さと撮影範囲、カメラの必要性能、撮影時間との関係(概念)

簡易に迅速に調査するという観点では、単純に高高度での撮影が良いとは限らない。今回の報告は1高度における積雪分布のみにとどまっているが、積雪調査に用いる UAV という視点において、適当な飛行高度の設定は今後の課題と考えられる。

(4) 標定点の設置

SfM による調査では、測量誤差を小さくするため、計測範囲の主に周辺部に、座標値が既知となる標定点を設ける必要がある。UAV から撮影した画像、あるいは合成したデータ上で認知しやすいように、対空標識が設置される。

積雪での調査では、積雪面上に対空標識を表示した場合、すぐに融雪、圧密、あるいは降雪によって標高が変化するため、その場で座標値を測量する必要が生じる。また対空標識を残置、再利用することも不可能である。このため今回の調査では事前に積雪に埋没しない土台を築いた上で、対空標識を設置した。標定点の撮影や観測の点でこの方法は都合の良いものとなったが、一方この土台が人工的な吹き溜まりを引き起こしてしまい、特に風上側の地点での標定点の設置は留意が必要なことがわかった。

観測都度の掘削手間が生じるが、地表面に対空標識を設置して積雪に埋没させる方法を採用など、今後の

工夫が必要となるといえる。

(5) 草本の影響

今回の計測のように、草本が繁茂している環境下では地盤線の計測の際に草本の高さを捕らえている可能性が考えられる。

草本が繁茂しない融雪直後など地盤線計測の時期を考慮することが必要であると考えられるが、適切な時期とならないことも多い。地盤線の撮影の際には、合わせて草本の高さについても現地観測をすることが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 伊東靖彦：[解説]「最大吹きだまり量」の算出について，寒地土木研究所月報，783， pp44-48， 2018.
- 2) 千葉隆弘：空撮画像を用いた写真測量による屋根上積雪深の測定精度に関する研究－体育施設を対象とした撮影距離ごとの測定精度について－，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），B-1， pp21-22. 2017
- 3) 小花和宏之，河島克久，松元高峰，伊豫部勉，大前宏和：小型 UAV を用いた積雪分布の 3 次元計測，雪氷，78(5)， pp 317-328， 2016
- 4) 内山庄一郎,上石 勲:平成 26 年 2 月豪雪での山梨県早川町における SfM による雪崩発生状況解析.寒地技術論文・報告集,30,43-46,2014.
- 5) 高橋浩司，長沼芳樹，本田秀樹，白川龍生:小型 UAV による空撮画像を用いた積雪断面測定，雪氷研究大会 (2017・十日町),講演要旨集， p284, 2017