雪氷面の特徴が与える UAV-SfM 測量への影響

Impact of snow and ice surface features on UAV-SfM

大内 優希[1]，舘山 一孝[2]，渡邊 達也[2]
Yuki Ouchi[1], Kazutaka Tateyama[2], Tatsuya Watanabe[2]
Corresponding author: m3225200071@std.kitami-it.ac.jp (Y.Ouchi)

海氷厚推定の方法として UAV を用いた SfM 測量が利用されはじめている．一般的に SfM による点群モデル作成では特徴点を多く検出することで精度が高くなることが報告されていることから，本研究ではグリーンランドのカナックと北海道のサロマ湖の氷上において測定を行い，雪氷面の明るさとラフネスが点群モデル作成にどのような影響を及ぼすのか検討した．点群密度を大きくするためには，モデルが明るくなる，日中の太陽が出ている時に ISO 値を小さくするなどの撮影条件が適していることがわかった．

１．研究背景

１．１　北極域における海氷厚計測

北極域では長期的に海氷が減少している．特に，年最小値の減少量は約 8.9 万 km^2 と北海道の面積に匹敵する [1]．海氷の減少により北極海航路，石油や天然ガスといった経済的影響が大きくなっている．つまり海氷厚や海氷分布の現地観測は地球環境変動の監視や氷海域で経済活動を行う上で重要であるといえる．

１．２　海氷厚計測について

海氷厚の計測方法はドリル掘削からメジャーで測定する直接観測と電磁誘導式氷厚計（EM 法），人工衛星を利用した間接観測がある（図 1）．前者は作業自体が単純であるものの作業労力が大きく広範囲観測には向かない．一方，後者は広範囲観測であるもののブライン，気泡など氷の複雑な内部構造に起因する誤差が生じる．海氷厚観測は新手法あるいは補完する手法の確立が望まれている．そこで，UAV-SfM 測量を用いた海氷厚計測が利用し始めている．

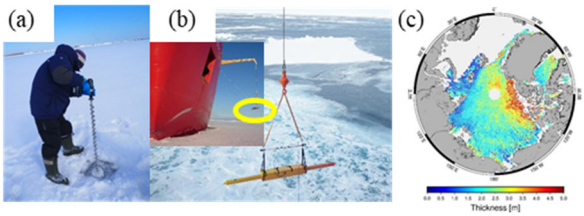

図１　海氷厚計測の様子．
(a) ドリル掘削．(b) EM 法．(c) 人工衛星．

２．UAV-SfM 測量について

UAV-SfM 測量は例えば渡邊ら [2]による地形測量や内山ら [3]による雪崩のメカニズム解明など多方面に適用されている観測方法である．

UAV (Unmanned Aerial Vehicle) はドローンと呼ばれアクセスが困難な地域で効率的に観測が可能である．また，図 2(a)のような固定翼型 UAV により観測範囲の拡大が可能である．

SfM (Structure from Motion) は図 2(b)のように多方向から撮影した写真を 3 次元に復元する技術である．点群作成時には特徴点を抽出して，タイポイントとして重ね合わせ 3 次元に復元することから多く検出することが望ましい．

つまり UAV-SfM 測量は UAV と SfM を組み合わせた技術であり，広範囲，面的，高解像度の計測が可能である．

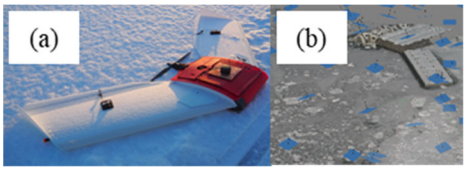

図２　UAV-SfM 測量
(a) 固定翼型 UAV（Tuffwing 製），
(b) SfM 解析による高密度点群モデル．

３．研究目的

本研究の先行研究として，渡邊・舘山 [4]によるグリーンランドの北西に位置するカナックの沿岸と佐藤 [5]による北海道の東に位置するサロマ湖で UAV-SfM 測量による海氷厚計測が行われた．前者は海氷面の微細な凹凸（犬橇の轍など）を再現でき

[1] 北見工業大学大学院　工学研究科　Graduate School of Engineering, Kitami Institute of Technology
[2] 北見工業大学　地球環境工学科　School of Earth, Energy and Environmental Engineering, Kitami Institute of Technology

Copyright©2022 公益社団法人日本雪氷学会
The Japanese Society of Snow and Ice

ているが，SfM の精度や品質については検証が不十分であった．後者は誤差数 cm の精度で氷厚の計測ができたが，撮影区画によって誤差の違いがみられ撮影条件の違いが影響した可能性がある．そこで本研究では撮影条件と海氷面の違いが SfM 解析による高密度点群モデル (Dense cloud) 生成時の点群抽出数に及ぼす影響を検討して，より高密度な点群を抽出する方法を検討した．

４．解析方法

４．１　空撮エリア

解析エリアは図 3 が示す，サロマ湖とカナックの２か所で空撮された SfM モデル使用した．各々の雪氷面の特徴としては，サロマ湖は積雪深が深く，色彩が単調である．一方，カナックは乱氷帯，座礁氷など様々な種類の氷が見られ色彩が豊かである．

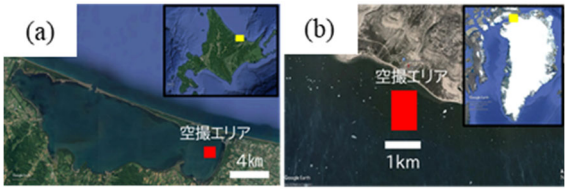

図３　解析エリア　(a) 北海道サロマ湖．(b) グリーンランドカナック

４．２　撮影方法

空撮は Tuffwing 製 UAV Mapper（図(a)），カメラは SONY 製 α6000（図）を使用した．撮影の詳細は表 1 であらわした．撮影日時はサロマ湖が，

図４　SONY　α6000

表１　空撮方法に関する諸情報．

空撮方法	カナック	サロマ湖
撮影条件		
シャッタースピード	1/1600 秒	
絞り値	F5	F5, 7.1
ISO 値	160-250（オート）	100
飛行設定		
高度	100m	
オーバーラップ率	80%	
サイドラップ率	80%	50%

2021 年 2 月 28 日，カナック 2019 年 3 月 15，16 日であった．

４．３　解析項目

本研究では，SfM モデルの再現性を比較するために高密度点群モデルの点群数を面積で割った，点群密度を用いて 2 種類の解析を行った．SfM 解析には Agisoft Metashape Professional を使用した．

４．３．１　モデルの明るさと点群密度の関係

解析１つ目は，日中と夕方での影響として，明度をパラメータとした明るさの度合い（0～255）を表し，数値が高いと明るい色，白色に近づく．サロマ湖で空撮されたモデル（図 5）を用いて，点群モデルの明るさと点群密度の関係を調べた．各エリアの点群モデルの点群数を数えて，面積で割った点群密度を求めた．また，点群モデルを 100m×100m の 160 か所（日中 80 か所，夕方 80 か所）に分けて各エリアの明度の標準偏差を求め，コントラストを比較した．次に，各エリアの明度の平均値を求め点群密度と比較した．

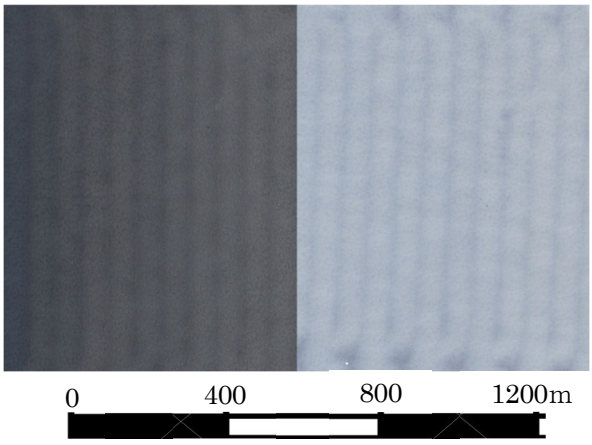

図５　解析に使用したモデル（左：夕方，右：日中）
座標系：JGD2011/Japan Plane Rectangular CS13

４．３．２　ラフネスと点群密度の関係

解析２つ目は，カナック（図 6）における点群モデルから雪氷面の凹凸による影響として，フリーボード（海水面からの海氷と積雪の高さ）の標準偏差を求めラフネスを評価した．全体を 100 m×100 m の 70 か所に分けて各エリアのフリーボードの高さの平均値，標準偏差を求めた．また，各エリアの点群モデルの点群数を数えて，面積で割った点群密度を求めた．そして，ラフネスによる点群密度の関係を比較した．

Copyright©2022 公益社団法人日本雪氷学会
The Japanese Society of Snow and Ice

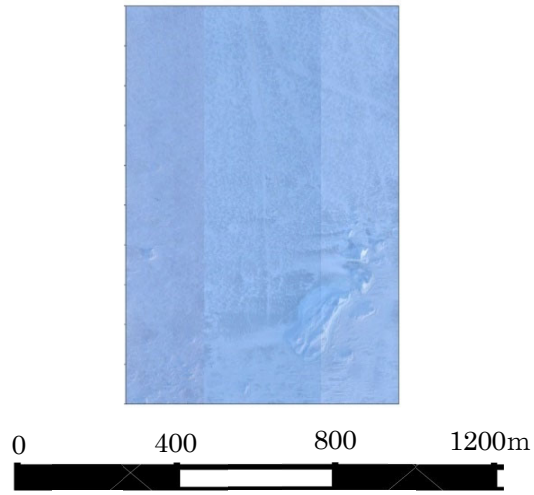

図６　カナックのモデル
座標系：WGS84/UTN Zone 19N

５　解析結果

５．１　モデルの明るさと点群密度の関係

図 8 に示すように，日中空撮を行った画像（21-A）と夕方空撮を行った画像（21-B）を比較すると明度の標準偏差であるコントラストにおいては，夕方には影ができやすいことから数値が日中と比べ 2 倍ほど大きくみられた．明度の平均値は夕方ではおよそ 100 で，日中ではおよそ 200 程度になり，気象条件がさほど変わらない場合 2 倍近く変化することが分かった．また点群密度は夕方が約 110 点/m²，日中が約 140 点/m²となった．夕方に低密度になった要因として画像の黒つぶれと考えられる．黒つぶれ対策として ISO 値を大きくすることがあるが，ノイズが生じやすくなる．つまり日中のほうが高密度に再現されることから UAV-SfM 測量は明るくなる日中のほうが適切な環境であることが分かった．

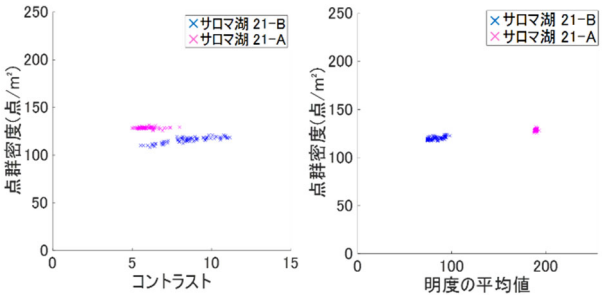

図７　明度と点群密度の関係（左：コントラスト，右：明度の平均値）．

５．２　ラフネスと点群密度の関係

図 8 に示すように，氷山などラフネスが大きくなるほど点群密度が高くなる傾向がみられた．氷山のフリーボードの高さの最高地点は 6m ほどであった．氷山がみられるエリアでは点群密度が，200 点/m²を超えるところがあった．一方，点群密度のばらつきがみられ，これは大きな氷山が 100m 四方に区切ったときに平均値として均されたことによると考えられる．平坦なエリア（フリーボードの高さが 0～1m 程度）においても積雪面の模様などラフネスが大きくなることで点群密度が大きくなることが分かった．

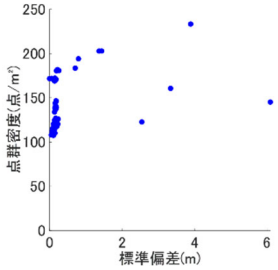

図８　ラフネスと点群密度の関係

６　まとめ

モデルの明るさとラフネスが点群モデルの点群密度に影響することが分かった．点群密度を多く抽出するためには，夕方など点群モデルが暗くなると，画像の黒つぶれが起きる可能性があり，ISO 値を上げるとノイズが大きくなることから，点群モデルが明るくなる，日中の太陽が出ているときに ISO 値を小さくすることが望ましいことが示せた．今後，適切な明度を定量的に検証する必要があると考える．

また，図 9 が示すようにラフネスが大きいほど点群密度が高くなるが，ISO 値も影響する可能性があることが示せた．

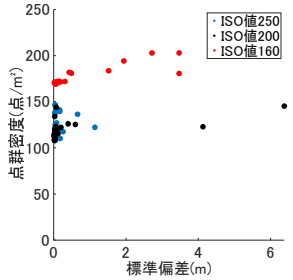

図９　IS0 値別のラフネスと点群密度の関係

Copyright©2022 公益社団法人日本雪氷学会
The Japanese Society of Snow and Ice

7　今後の方針について

固定翼型 UAV により広域空撮を実現可能にしたが，図 10 のように海氷面への胴体着陸は機体への衝撃が大きく，度々メンテナンスが必要になる問題点がある．今後は VTOL 型（垂直離着陸型機）UAV による安定した機体を導入することを検討している．

図１０　固定翼型 UAV の着陸の様子

【参考文献】

1) 気象庁海氷域面積の長期変化傾向（北極域）URL:https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/a_1/series_arctic/series_arctic.html（2022 年 5 月 5 日閲覧）
2) 渡邊達也，三浦竜，川尻俊三，山崎新太郎，中村大，川口貴之，雨宮和夫，2019：北海道陸別町で発生した地すべりの末端隆起の成長，日本地すべり学会誌，**56**(6)，313-319
3) 内山庄一郎，鈴木比奈子，中村一樹，2018：雪崩災害調査への UAV-SfM の適用：2017 年那須町雪崩災害の事例，自然災害科学，**37**(5)，119-135
4) 渡邊達也，舘山一孝，2021：UAV-SfM 測量による海氷フリーボード計測の試み，日本雪氷学会誌『雪氷』，**83**(2)，155-167
5) 佐藤功坪，2022：UAV-SfM 測量を用いた沿岸域における海氷厚の推定，北見工業大学大学院工学研究科修士論文（未公刊）

Copyright©2022 公益社団法人日本雪氷学会
The Japanese Society of Snow and Ice