

ドローンを用いた多視点ステレオ写真測量による海氷厚分布の測定に関する研究

Study on measurement of sea ice thickness distribution by multi viewpoint stereo photogrammetry using UAV

照井雄大（北見工業大学大学院），舘山一孝，渡邊達也（北見工業大学）

Yudai Terui, Kazutaka Tateyama and Tatsuya Watanabe

1. 研究背景と目的

海氷の存在は大気と海洋間の熱交換に対して断熱材としてはたらくなど，その変化は北極域の環境に大きな影響を及ぼす¹⁾．異常気象や地球温暖化などの気候変動の実態把握，それらの機構解明のために海氷観測は有効な手段の1つである²⁾．その中でも海氷面積にとどまらず，海氷量の変動を監視することは重要であり，そのためには海氷厚測定の精度を向上させることが必要不可欠である．しかし，ドリル掘削による測定や航空機，船舶に搭載した電磁誘導式氷厚計などといった従来の現地測定方法では労力やコストがかかり，高頻度で測定することは困難であり，従来の現地測定より効率が良く広範囲でコストがかからない手法が求められる．

地形学や地質学などの分野ではドローンを利用した SfM（Structure from Motion）と呼ばれる異なる方向から撮影した複数の写真から，カメラと対象物の3次元構造を復元する手法を用いた多視点ステレオ写真測量が注目されている³⁾．本研究はこの手法を応用して空撮写真と現地で測位した位置情報から構築した数値標高データから，効率よく海氷厚を推定することを目的とした．

2. 対象地域

筆者らは予備研究として2017年に北海道東部に位置する能取岬，網走湖，屈斜路湖において海氷，湖水の空撮を行った．本稿では最も多くの空撮写真と地上基準点が得られた網走湖における測定結果について報告する．



図1 北海道の全体図と網走湖の拡大図（Google Earth より）

3. 観測とデータ解析方法

(1) ドローンによる空撮

2017年4月13日の16時から18時にかけてドローンによる空撮を行った。使用したドローンはDJI社のPhantom4Proを使用した。撮影条件として、ドローンの飛行時の撮影高度は22.5m、撮影インターバルは2秒、写真1枚あたりの重複率は90%以上、写真の保存形式はJPEGと設定した。20分間の飛行で総撮影枚数は527枚、撮影範囲面積は0.017km²であった。

(2) GCP (Ground Control Point : 地上基準点) の座標計測と実測値

撮影画像から作成する高密度点群モデルに位置情報を付与するために、GCPを設置し位置情報を入手する必要がある。そのため撮影前に撮影範囲内において対空標識を6地点設置し、Trimble社のGNSS機器であるSPS351を用いて標識の中心座標を求めGCPとした。空撮時は湖氷の融解が進んでおり、氷上での氷厚実測は危険と判断し、行わなかった。参考情報として、翌年2018年2月8日の16時に網走湖でドリル掘削による氷厚実測を3点行った。

2017年4月の測量データは寒さによる手の震えなどから取得した座標の値の信用性が低いと判断されたため、2017年10月17日に同地点でGCPの計測のやり直しを行った。この際に使用機材は表1に示すEmlid社のReachでRTK測位によって行った。

表1 再計測した際のGNSS機器の諸元

機材名	メーカー	サイズ	重量	誤差 (RTK 測位の場合)
Reach	Emilid 社	45.5 x 27 x 9.2 mm	14 g	水平 : 5mm, 鉛直 10mm

(3) SfM 処理

SfM処理には、Agisoft社のSfMソフトウェアであるPhotoScan Professionalを使用した。撮影した写真をSfMソフトウェアに取り込み、現地測量で得たGCPの座標を入力し、位置情報を付与した高密度点群モデルを作成した。

(4) 氷厚計算

SfM処理で得た高密度点群モデルから数値標高モデルを出力し、静水圧平衡から全氷厚を計算した。網走湖は淡水湖であるため、融解期であることから湖水と湖氷の温度を0℃と仮定し、湖水の密度を999.84kg/m³、湖氷の密度916.50kg/m³として全氷厚に換算した。

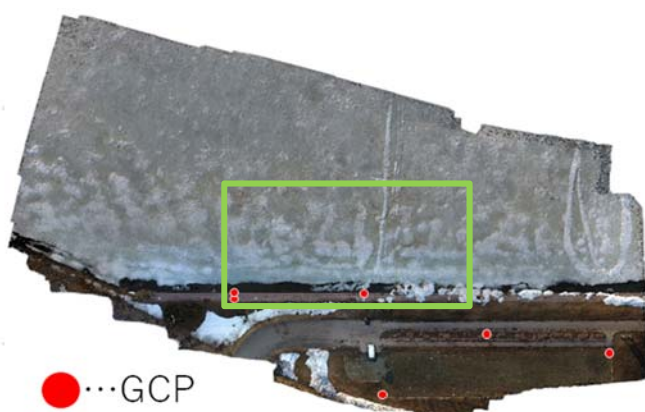


図2 空撮写真から作成した網走湖の高密度点群モデル

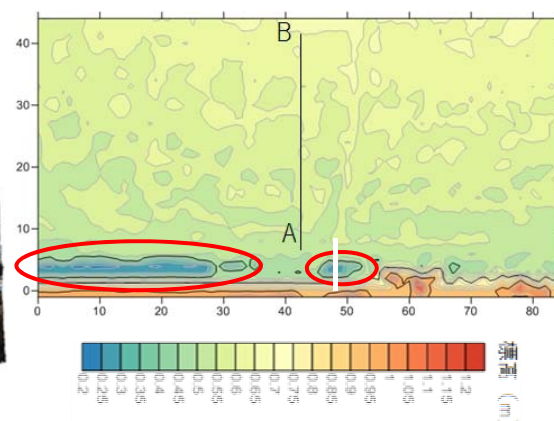


図3 図2の緑色の枠で囲われた範囲の等高線図

4. 解析結果

(1) 高密度点群モデル

SfM ソフトウェアに撮影した写真を取り込み、図 2 のように網走湖の高密度点群モデルを作成した。湖の氷の端部分は欠落があるもの、表面の凹凸が欠損なく表現されている。

(2) 等高線の作成

図 2 において緑色の枠で示した範囲を地表マップ作成ソフトを用いて 1.0m 格子の数値標高データを出力し、湖水の等高線図を作成した。ここで標高は東京の平均海面を基準とした。湖水表面の標高はおよそ 0.45~0.60m と表示され、図 3 の赤丸部分で示したような岸付近に見られた水面では湖水表面よりも約 0.30m も標高が低くなっていたため、対象部分(図 3 の白い線の部分)の断面図を図 4 のように作成し原因を検討した。網走湖の湖岸は階段状になっており、図 4 の矢印の色は同じ段を表している。この比較から水面の標高は正しく計算されておらず、水面を透過して映っている湖底を SfM ソフトが水面と認識してしまって誤った標高を計算したためと考えられる。この問題を解決するため、図 4 のように空撮写真と地上で撮影した写真から水面の標高を 0.48m と再定義し、この値から氷厚計算を行った。

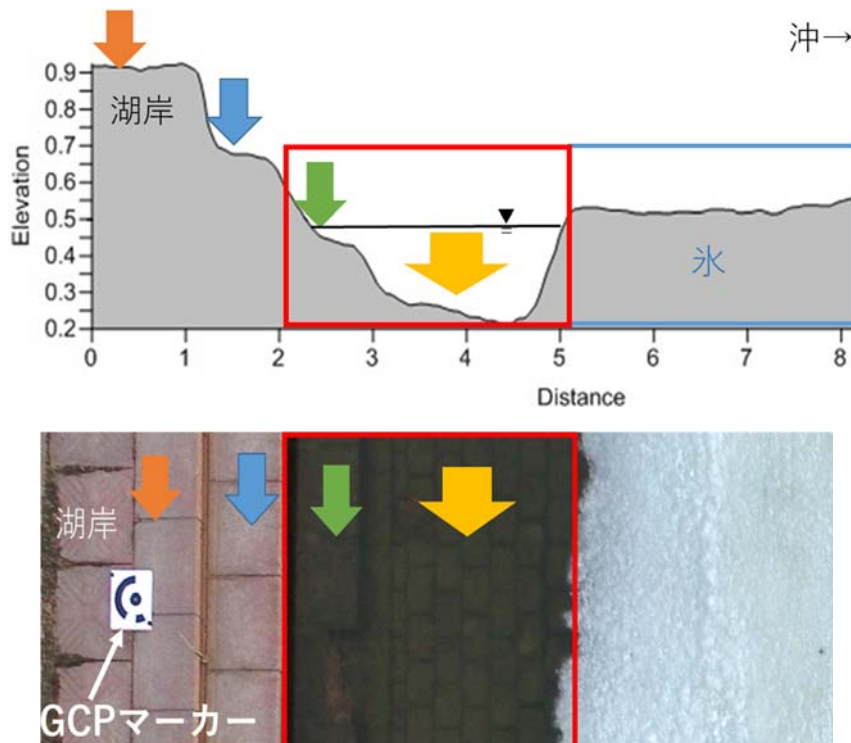


図 4 作成した断面図と断面図付近の空撮写真

(3) 推定氷厚

図 5 は図 3 の等高線図の線 AB 上の推定氷厚である。水面を 0m とし、水面から氷表面を表すフリーボードを正の値、水面から氷底面までの厚さを表すドラフトを負の値で表示している。また、参考として 2018 年 2 月 8 日にドリル掘削で得られた実測値を点で示す。岸付近の A 地点付近では概ね実測値と近い結果が得られ、フリーボードでは誤差 0.149m、ドラフトでは誤差 0.021m であった。一方、岸から離れるにしたがって厚くなる傾向が見られ、B 地点付近ではフリーボードとドラフトの誤差はそれぞれ 0.061m、1.258m と増加した。誤差が大きくなった原因は GCP を湖上や湖水上に配置できず、陸地のみに配置したために起きたものと考察される。

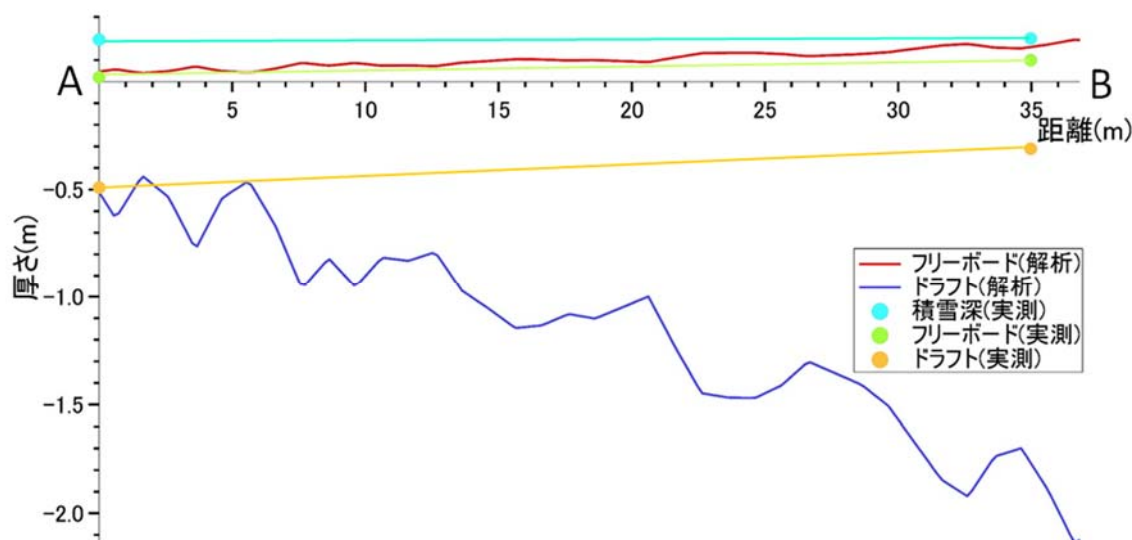


図5 等高線の線 AB 上の推定氷厚と実測氷厚（参考値）の比較

6. まとめ

SfM ソフトウェアで作成した網走湖の氷の高密度点群モデルは凹凸も欠損なく再現しており、大きな問題はみられなかった。しかし、数値標高データを出力し等高線図を作成した場合、水面の標高を正しく表示できなかった。これは SfM ソフトウェアが水面ではなく湖底を認識してしまったことによるものと考えられた。

推定氷厚に関しては、GCP に近い岸付近では 2018 年 2 月に実測した参考値と比較的近い厚さが得られた。しかし、岸から離れるにつれて氷厚は過剰に厚く計算されてしまった。これは GCP が陸地にのみに配置され、湖上や湖氷上に配置できなかったことが原因と考えられる。

今後はこれらの解決策として、氷厚をより正確に推定するために GCP が撮影範囲内を全てカバーできるように氷上にも設置すること、現地観測の際に浮体を用いて水面にも GCP を設置し水面の標高を計測できる装置を導入することで、より正確な氷厚を推定できる可能性があると考えられる。

【参考文献】

- 1) 石川信敬, 小林俊一, 1983 : 海氷の生長に伴う表面熱収支の変化 I : サロマ湖における冬の表面熱収支, 低温科学, 物理篇, 41, 179-189.
- 2) 気象庁 : 気候変動と海氷, http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/seaice/knowledge/eikyoku_kikou.htm, 2018 年 6 月 25 日閲覧.
- 3) 山崎新太郎, 2017 : 地すべり調査におけるドローン (UAV) の活用事例, 地質と調査, 148 号, 12-16.