地上分光放射観測に基づくUAVによる雪氷アルベド計測手法の評価

日本大学工学部土木工学科　学生会員　○中河　知也
日本大学工学部土木工学科　正会員　朝岡　良浩
日本大学大学院工学研究科情報工学専攻　非会員　角張　龍平
日本大学工学部情報工学科　非会員　若林　裕之

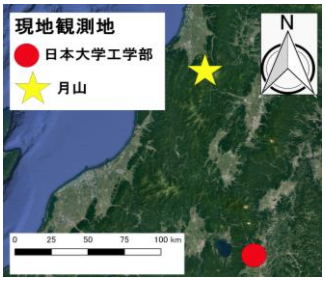
1. 緒言

近年，世界各地の氷河は急速に減少している．氷河融解水は人々の生活用水として利用されており，氷河の減少に伴う水供給の逼迫が懸念されている．融解現象はエネルギー交換に基づいて発生する．融解量を推定するためには，エネルギー交換の1つの要素であるアルベドを把握する必要がある．アルベドとは，物体の表面に入射する入射光のエネルギーと，様々な方向に反射される反射光のエネルギーの比を表し，雪氷の融解を左右する(アルベド＝反射エネルギー/日射エネルギー)．アルベドの定義から，雪氷の融解はアルベドが低い程進行する．アルベドの低下原因として挙げられるものは，雪氷面の暗色化と雪(氷)の粒径によるものである．暗色化は，雪氷に含まれている塵や土砂，微生物などによる有機物などが原因になって起こる現象[1)]である．暗色化と粒径の影響で雪の分光反射特性が変化する．分光反射特性とは，各々の物体が電磁波の波長帯に応じて，反射，放射をする波長帯が存在する特性のことである．雪渓の画像解析はUAV画像以外に，人工衛星画像を用いることができる．しかしUAV画像の解像度が約30cmに比べ，人工衛星画像の解像度が約30mと低いことから，雪面の不均一な暗色化を高精度に観測し解析を行う為には，UAV画像を用いた解析が有益と考えられる．

既往研究[2)]では，UAVに搭載した可視カメラと近赤外カメラ[3)]を用いて撮影した対象雪渓のアルベド分布を統計的手法で推定したが，2種類のカメラで撮影した画像を合成する際に生じるずれの緩和と，推定したアルベドはR(赤)，G(緑)，B(青)，Nir(近赤外)の4波長帯以外の波長帯を考慮していないといった2つの課題が挙げられた．本研究では，既往研究で挙げられた課題を基に，2種類の画像を合成する際のずれを考慮した合成方法を導くこと，UAV搭載カメラシステムから得られる可視・近赤外の波長帯の分光放射輝度データを用いて算出するアルベド計測手法について，地上における分光放射計測と日射計によるアルベド計測に基づいて検証した．

2. 観測方法

本研究の現地観測の対象地域は山形県の中央部に位置する月山の雪渓を対象とし，地上と上空からの同時観測を2017年7月8日に行った(図−1)．本研究では，UAV(Unmanned aerial vehicle)と呼ばれる無人航空機を用いて雪面の暗色化を撮影した．



図−1 現地観測地

地上では，日射計を用いて白板，砂利，土，草，黒雪，まだら雪，白雪の全天日射量と反射日射量を計測した．計測した値からアルベドの定義に基づいてアルベド値を算出した．本研究ではこの値を真値のアルベド値として扱った．同様に，分光放射計を用いて各観測点の分光放射輝度を計測した．上空からは，UAVで対象雪渓全体をRGBとNirのカメラで撮影し，撮影した画像から各観測点のDN(光の強さを整数化した値)を抽出した．

3. 解析方法

日射計から算出した真値のアルベド値とUAV画像から算出したアルベド値を比較し，本研究の計測手法にどのような課題が挙げられるのか検討した．また，地上観測で計測した分光放射輝度と，UAVで計測したDNを用いて，以下に示す式から4波長帯に対応する係数αをそれぞれ求めた．

キーワード　雪渓，雪氷暗色化，UAVモニタリング，分光反射特性，可視・近赤外カメラシステム
連絡先　〒963-8642　福島県郡山市田村町徳定字中河原1　日本大学工学部土木工学科　水文・水資源工学研究室

係数 α_{band}=分光放射輝度$_{band}$/DN$_{band}$・・・式①

また，係数 α を用いて，地上で計測した4波長帯によるアルベド値と日射計のアルベド値を比較し精度を検討した．

4. 結果および考察

本研究では，Nir画像をRGB画像に位置補正する手法を使用した．GISソフト上の35種類の変換方法に対して，変換後の画像に乱れが生じた変換方法を除き，位置補正で比較対象とした変換方法は22通りである．変換方法の比較はRGB画像とNir画像に無作為に選んだ検証点を設置し，2種類の画像の検証点の誤差が一番小さい方法を採用し，本研究では，誤差が一番小さかったシンプレートスプラインと線形の組み合わせの変換方法を採用した．

日射計(全波長帯)からのアルベド値と分光放射計(4波長帯)からのアルベド値を比較すると砂利，土，草が真値のアルベド値より低く推定され，雪は真値よりより約1.5倍過大推定されることが分かった(図−2)．UAV画像から抽出したDNと分光放射計を用いて計測した分光放射輝度を式①に代入し，波長帯毎に対応する係数 α を算定した．本研究では，各観測点の9ピクセルあたりのDN平均値を用いて係数 α を算定した．また，算定した係数 α を用いて対象雪渓の画像からアルベド値を算定し，アルベド分布図を作成した(図−3)．日射計のアルベド値と画像からのアルベド値を比較すると，白雪が真値のアルベド値より低く推定され，全体的に画像から算定したアルベド値は真値よりも約50%過小推定されることが分かった(図−4)．

また，画像から算定した白板のアルベド値に注目すると，真値に比べて大幅に低く推定されることが分かった．日射計，分光放射計，UAV画像から算出されたアルベド値を(表−1)に示す．白板は全天日射量を99%反射するように作製されている．しかし，本研究の画像を用いた計測方法では白板のアルベド値を過小推定した．この理由として，UAVで雪渓の撮影を行った日の天候の関係で，撮影した画像が飽和していることや，画像合成のずれが残っていることが原因で画像から算定されたアルベド値が低くなったと考えられる．

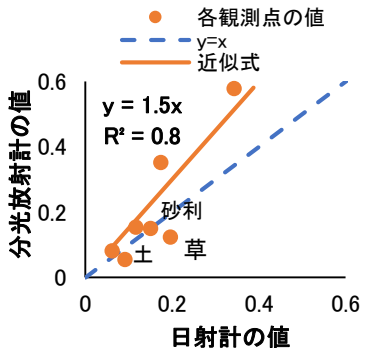
5. 結言

本研究では，UAVに搭載した2種類のカメラを用いて撮影した対象雪渓のアルベド計測手法について検討した．UAV画像でモザイクを作る際のずれを抑えることが画像合成のずれを軽減することにつながると考えられる．その適応策として対空標識の設置であるが，対空標識の大きさや形，撮影条件が影響することが考えられるため，撮影条件に合わせた大きさの対空標識の設置や撮影対象物を囲むように設置するなど，現地観測の際は画像解析時のことも念頭に置く必要がある．

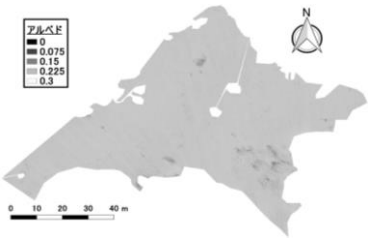
また，現地観測を行う際にカメラのシャッター速度の調節などのカメラパラメータの適応性，撮影対象物に適した撮影高度などを考える必要がある．

表−1 日射計/分光放射計/UAV画像のアルベド値

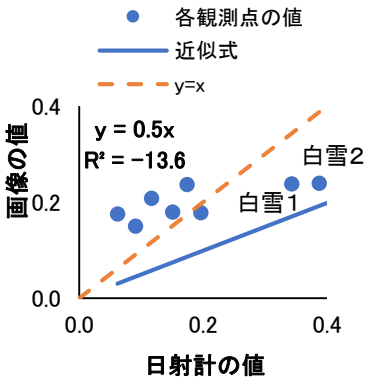
アルベド値	日射計	分光放射計	UAV画像
白板	0.796	-	0.225
地点① 砂利	0.151	0.143	0.179
地点② 土	0.091	0.049	0.150
地点③ 草	0.197	0.109	0.178
地点④ 黒雪1	0.117	0.152	0.208
地点⑤ 白雪1	0.343	0.580	0.238
地点⑥ まだら雪	0.174	0.351	0.237
地点⑦ 白雪2	0.388	0.632	0.239
地点⑧ 黒雪2	0.062	0.077	0.175



図−2 日射計と分光放射計のアルベド値



図−3 アルベド分布図



図−4 日射計と画像のアルベド値

謝辞

本研究の一部はクリタ水・環境科学振興財団の助成を受けた．ここに記して謝意を表する．

参考文献

1)竹内望(2017):北極域氷河の雪氷藻類群集と暗色化，低温科学，低温科学第75巻，pp.53-65

2)堀江健太(2017):UAVを用いた雪渓のアルベド分布推定，日本大学工学部卒業論文

3)角張龍平・中村和樹・若林裕之(2017):小型UAV搭載用可視近赤外カメラシステムのラジオメトリック評価，日本リモートセンシング学会第63回学術講演会論文集，pp362-363