

衛星クラウドサービスを活用した ダム流域の融雪状況の把握 —ダム管理の高精度化に向けて—

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 水環境保全チーム ○山田 嵩
星野 剛
村上 泰啓

衛星クラウドサービスを活用して、人工衛星画像から積雪面積率を計算し、ダム流域の融雪進捗状況の簡易な推定を試みた。その結果、従来では必要とされていたGISソフトウェア等を使用せず、クラウド上で積雪指標の計算が可能となった。今後は衛星クラウドサービスの活用により、ダム管理者がダム流域の融雪進捗状況を容易に把握できる可能性がある。

キーワード：ダム管理、人工衛星画像、融雪進捗状況

1. はじめに

積雪寒冷地において積雪は非常に重要な水資源であり、春から夏にかけて長期間安定した水を供給している¹⁾。一方、積雪は融雪期の豪雨による融雪出水や土砂災害の要因となる場合もある、このため、山間部における積雪の量及びその分布を正確な把握は、水資源管理及び防災の両面で重要である。

ダム流域のような立ち入りが困難な範囲の地表面の状況を広範囲に計測する手法として、人工衛星が用いられてきた。日本国内においても人工衛星画像を活用した研究が多数実施されている。例えば、小池ら²⁾では積雪水量と流域面積率の高度分布を明らかにし、積雪面積情報より流域積雪水量を推定するモデルを提案している。

現在、衛星クラウドサービスの普及が進んでいる。代表例として「Google Earth Engine」³⁾や「Tellus」⁴⁾等が挙げられる。その結果、従来は人工衛星画像をダウンロードし、GISソフトを用いて判読等の作業を行う必要があったが、最近では、クラウド上で判読等の作業を行い、結果だけをダウンロードすることが可能になっている。このようなサービスを利用すれば、新たな設備やシステム(HDD、ソフトウェア等)を必要とせず、人工衛星画像をダム管理に活用できる可能性がある。

そこで本研究では、Google Earth Engineを利用して衛星画像の検索から選定、積雪判別、結果のダウンロードを一気通貫して実施した。その結果について報告を行う。また、合わせて積雪面積率及び流域積雪水量の関係を分析し、融雪期におけるダム管理への活用についても検討を実施した。

2. 対象領域

対象領域は北海道の中央部に位置する流域面積238.9 km²の忠別ダム流域である。忠別ダム流域は北海道内で最高峰の旭岳を含む。対象領域周辺の標高分布を図-1に示す。図中の■は気象観測点を表している。

3. 解析手法

(1) Google Earth Engine

Google Earth Engineはクラウドベースの衛星データ・画像の解析を行えるオンラインプラットフォームである。最大の特徴としてデータ解析や結果の表示を全てクラウド

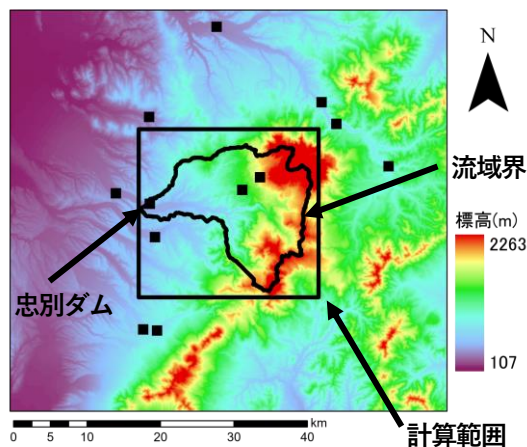


図-1 対象領域周辺の標高分布

ド上で完結させる事が可能である。

解析にはJavaScriptを利用するが、サンプルコードも多数用意されており、JavaScriptの知識が十分に無くても解析を始める事が可能である。利用開始にはgoogleアカウントが必要ではあるが、研究・教育目的であれば無償利用が可能である。

(2) 衛星画像

本研究では衛星画像にLandsat8号及びSentinel-2により撮影されたデータを用いた。用いたデータは2019年か2020年に撮影されたものである。Landsat8号はNASAにより打ち上げられ、アメリカ地質調査所(USGS)により運用されている地球観測衛星である。衛星軌道は太陽同期準回帰軌道であり、回帰日数は16日である。マルチスペクトルバンドの解像度は30 mまたは15 mである。

Sentinel-2は欧州宇宙機関(ESA)により運用されている地球観測衛星である。衛星軌道は太陽同期軌道であり、回帰日数は10日である。ただし、現在は2機体制で運用されているため実質的な回帰日数は5日間である。

(3) 積雪判別

積雪判別手法には正規化指標NDSI⁸⁾を用いた。NDSIの計算式を式(1)に示す。

$$NDSI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR} \quad (1)$$

ここで、Green は可視域緑色の反射率、SWIRは短波長赤

外域の反射率である。NDSIは-1から1の範囲を取り、一般にNDSIが0.4以上であれば積雪と判定される。

NDSIの計算範囲はダム流域が収まる範囲を設定しており、図-1に示す黒枠線の範囲内である。本来であれば、ダム流域のみを対象とするべきであるが、今回は簡略化のためにダム流域の抽出は実施していない。

計算範囲内のNDSI値をヒストグラム化して、CSVファイルとしてダウンロードし積雪面積率の計算を行った。実際にNDSI画像の作成及びNDSIヒストグラムの作成を行った画面を図-2に示す。

(4) 流域積雪水量の推定

ダム運用においてはダム流入量に多大な影響を与える流域積雪水量の把握が重要である。本研究では、流域積雪水量をダム流入量より推定し、積雪面積率との関係性を調べた。

流域積雪水量の推定式は式(3)に示す。

$$SWE_{basin} = Q_{in} - P_{rain} + E_{pt} \quad (2)$$

ここで、 SWE_{basin} は流域積雪水量(m^3)、 Q_{in} はダム流入量(m^3)、 P_{rain} は降雨量(m^3)、 E_{pt} は可能蒸発散量(m^3)である。計算期間は3月1日から7月31日までである。降雨量には流域平均降雨量を用い、可能蒸発量の計算にはマッキング式⁹⁾を用いた。

マッキング式による可能蒸発量の推定式を式(4)に示す。

$$E_{ptm} = a \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \left(\frac{R_s}{L} \right) + b \quad (3)$$

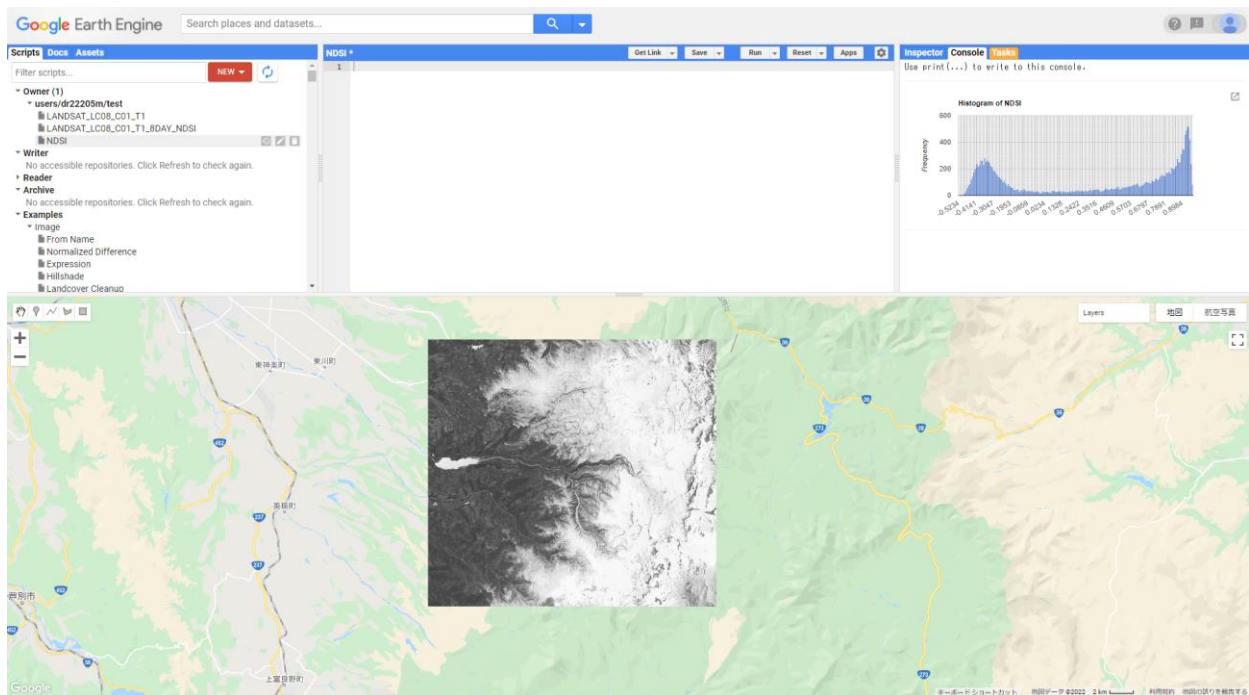


図-2 Google Earth Engine の操作画面

ここで、 E_{ptm} は可能蒸発量(mm/d)、 R_s は全天日射量(MJ/m²・d)、 L は蒸発潜熱(MJ/kg)で、 $L = 2.5 - 0.0025T$ 、 T は気温(°C)、 γ は乾湿計定数(hPa・°C)、 a 、 b は地点毎に異なる定数である。無次元の係数は次式⁷⁾にて近似した。

$$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} = \frac{1}{1.05 + 1.4 \exp(-0.0640T)} \quad (4)$$

また、 a 、 b は永井⁸⁾が全国の気象官署を対象に値を推定しており、全国平均の値でも十分な精度がある事を確認している。本研究では全国平均の値である、 $a = 0.8$ 、 $b = 0.5$ (mm/d)を用いた。

4. 結果と考察

(1) NDSIの計算結果

Google Earth Engineにより作成したNDSI値画像を図-3から図-5に示す。図を見るといずれも標高の高い山間部においてNDSI値が高く、積雪が存在していると考えられる。また、時間経過とともに積雪域が減少し融雪が進行

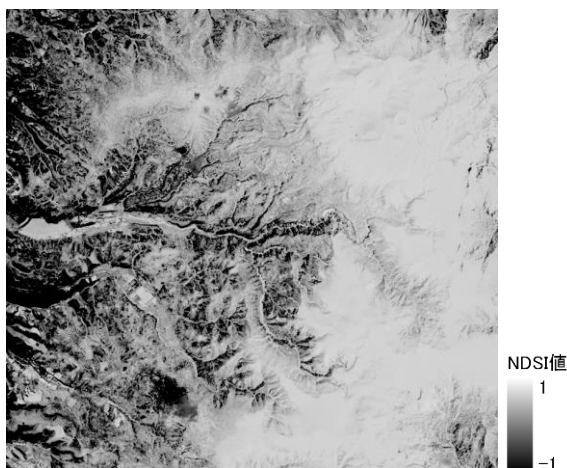


図-3 NDSI 値画像(2020年4月13日)

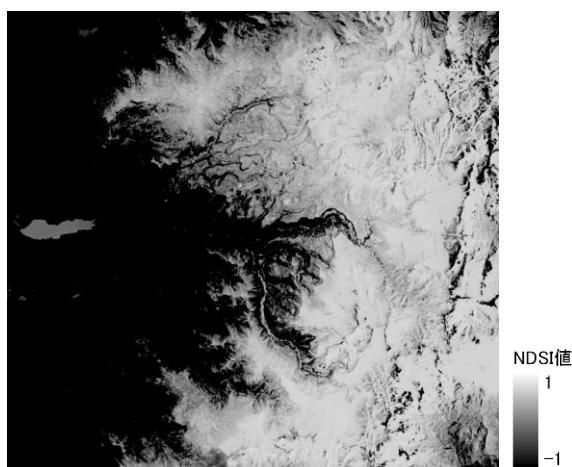


図-4 NDSI 値画像(2020年5月15日)

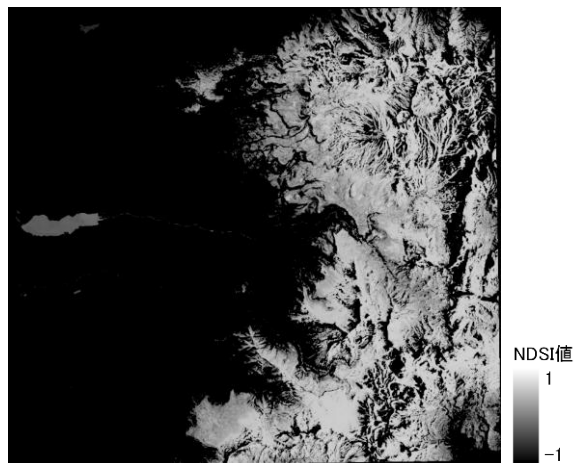


図-5 NDSI 値画像(2020年5月31日)

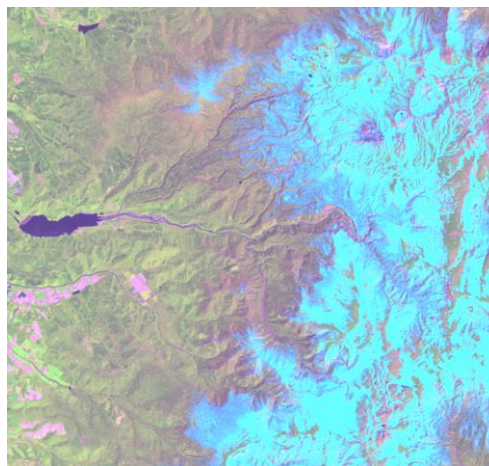


図-6 カラー画像(2020年5月31日)

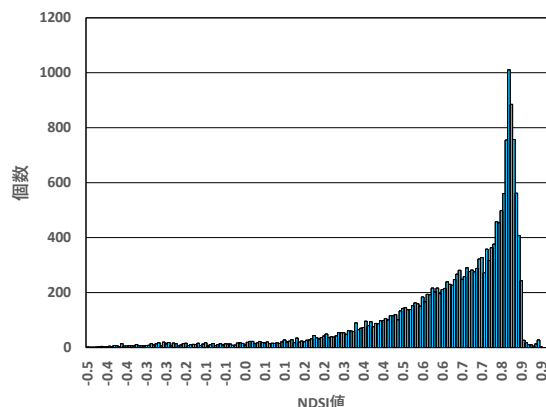


図-7 NDSI 値のヒストグラム(2020年4月13日)

している事が見て取れる。また、高標高帯であってもNDSI値が低い値を示しており、非積雪域と推定される領域も確認できる。これは風による雪の再分配の影響であると考えられる。参考としてカラー画像を図-6に示す。ただし、カラー画像はGISソフトにて別途作成したもの

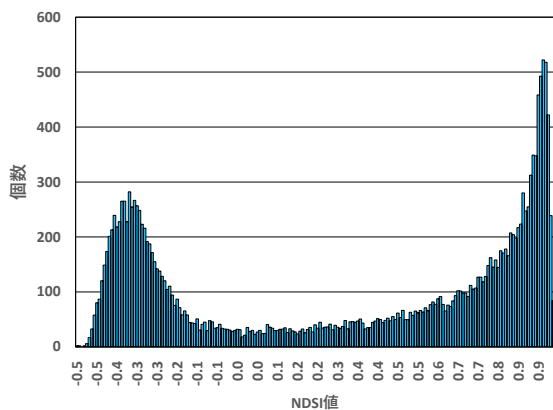


図-8 NDSI 値のヒストグラム(2020年5月15日)

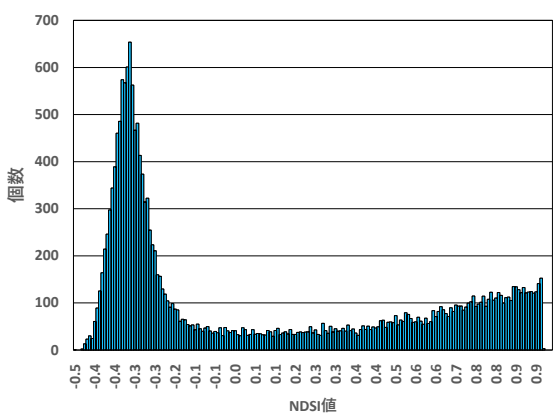


図-9 NDSI 値のヒストグラム(2020年5月31日)

である。

さらに、NDSI値のヒストグラムを図-7から図-9に示す。それぞれのヒストグラムを見ると、2020年4月13日で右の積雪側に一山、2020年5月15日には二山、2020年5月31日には非積雪側に一山の分布になっている事が分かる。NDSI値のヒストグラムからも融雪の進行が確認できる。また、ヒストグラムからは積雪面積率の計算も可能であり、融雪進捗状況を定量的に把握する事ができる。

(2) 流域積雪水量推定の推定結果

図-10に忠別ダム流域の積雪面積率と流域積雪水量の散布図を示す。データの使用期間は2019年及び2020年である。図-10を見ると積雪面積率と流域積雪水量には強い相関関係があり、積雪面積率から流域積雪水量を推定する事は十分可能であると考えられる。すなわち、クラウドサービスを活用し人工衛星画像から積雪面積率を推定する事で、ダム管理者が簡易に流域積雪水量を把握し

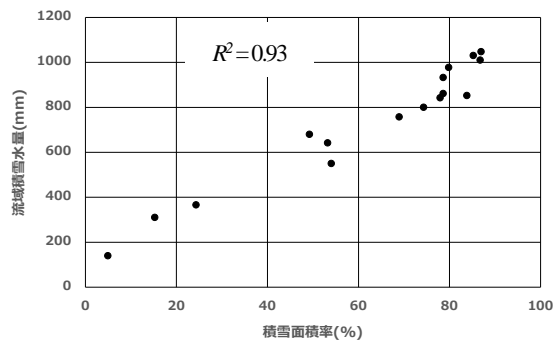


図-10 積雪面積率と流域積雪水量の散布図

効果的なダム管理を実施できる可能性がある。

5. まとめ

本研究では、Google Earth Engineを利用して衛星画像の検索から選定、積雪判別、結果のダウンロードを一気通貫して行った。その結果、従来必要とされていたGISソフトや高性能計算機等を使用せずとも、既存のソースコードを活用する事で誰でも簡単に人工衛星画像の解析が可能になりえる事を示した。ただし、Google Earth Engineは無償のサービスであり、サービスの継続性等について課題を有する。

参考文献

- 1) 小野延雄, 石川信敬, 新井正, 若土正暁, 青田昌秋:雪氷水文現象 (基礎雪氷学講座VI), 前野紀一・福田正巳編, 古今書院,p17,1994.
- 2) 小池俊雄, 高橋裕, 吉野昭一:積雪面積情報による流域積雪水量の推定, 土木学会論文集1985巻357号,pp.159-165,1985.
- 3) N. Gorelick, M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau, and R. Moore: Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone, Remote Sensing of Environment, 202, pp. 18-27., 2017.
- 4) さくらインターネット株式会社:日本発の衛星データプラットフォーム, <https://www.tellusxdp.com/>, 2022年1月11日最終アクセス.
- 5) Dozier, J. (1989) : Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper. Remote Sensing of Environment, 28, 9-22.
- 6) Makkink GF.: Ekzamenen de la formula de Penman. Netherl. J. Agric. Sci. 5: 290-305, 1957.
- 7) 角屋睦, 永井明博:長短期流出両用モデルの永源寺ダム 流域への適用と考察, 農業土木学会論文集, 1988巻, 37号, pp.71-78, 1988.
- 8) 永井明博: Makkink 式による計器蒸発量の推定と考察, 水文・水資源学会誌, Vol. 6., No. 3, pp.238-243, 1993.