

衛星と地上撮影による積雪面積情報を考慮した 三国川流域の融雪流出解析

長岡技術科学大学大学院 ○西潟優希

長岡技術科学大学 正会員 陸旻皎

国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 正会員 山田嵩

1. はじめに

正確な積雪情報の把握は、水資源の有効活用や融雪洪水予測において重要である。衛星画像を用いれば、広範囲の積雪情報が得られるが、時間解像度が小さい等の問題がある。一方、地上撮影画像では、情報が得られる範囲（以後、視認領域）は狭いが、時間解像度は高い。そこで、本研究は、衛星画像および地上撮影画像の積雪面積情報の相関関係に着目し、積雪面積情報を考慮した融雪流出解析を行うことを目的とした。

2. 対象流域の概要

本研究における対象流域は、三国川流域に存在する、三国川ダム（以後、ダム流域）である。図 1 に流域図を示す。三国川は、新潟県南魚沼市を流れ、信濃川の支流である魚野川に合流する河川である。流域面積は、153.4 km²（ダム流域は、76.2 km²）、幹川流路延長は、23.3 km である。周辺地域は、豪雪地帯であり、4月から5月上旬にかけて融雪のピークを迎える。¹⁾

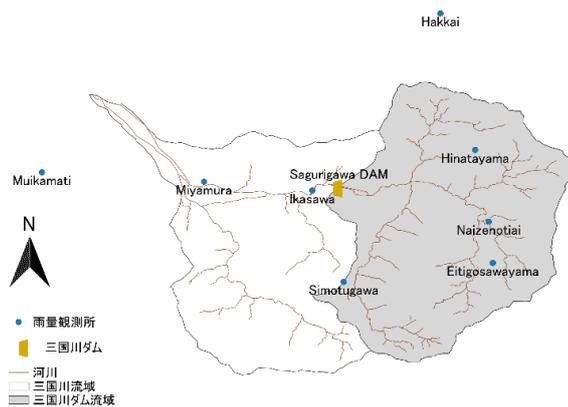


図 1 三国川ダム流域と周辺観測所

3. 相関関係

一般に流域の積雪分布は時期による差が大きい、標高の依存性が強いことが知られている。山田²⁾は、五十嵐川流域に存在する、大谷ダム及び笠堀ダム流域を対象に、地上から見る事ができる領域（以後、視認領域）と、衛星画像上の視認領域において、積雪面

積率及びダム流域との積雪面積率を比較した。両者の積雪面積率には、強い相関があることを示した。また、西潟³⁾は、対象領域を10の標高帯に分割し、標高帯ごとに視認領域とダム流域との間での積雪面積率の相関関係の推定を行った。よって本論文において、上記の方法で衛星画像のサンプルを増やし再度、相関係数を求めた。地上撮影画像の積雪面積率の算出を自動化し、より詳細な積雪面積率の日変化を求めた。また、衛星画像上の視認領域と地上撮影画像の積雪面積率を比較した。

4. 方法

4.1. 標高帯の分割、視認領域図の作成

標高帯の分割をするために、ダム流域の面積標高曲線を作成した。（図 2）この面積標高曲線に基づいて標高を、標高を10分割した場合（以後、標高分割）を作成した。分割した標高帯の諸元を表 1 に示す。視認領域の作成には、QGISのVisibility Analysisを用いた。三国川ダムの天端（標高439.5 m）を基準とし、算出した。図 3 に、ダム流域と視認領域を示す。

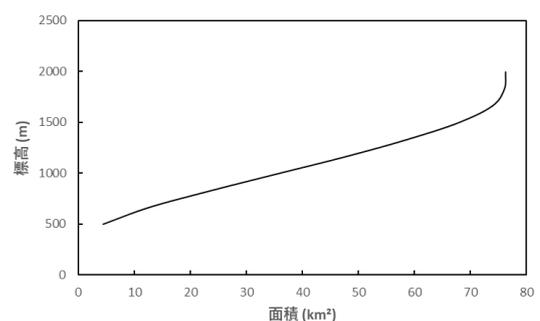


図 2 面積標高曲線

表 1 標高分割の諸元

標高帯	標高下限(m)	標高上限(m)	標高平均(m)	面積(km ²)	面積率(%)
01	412	579	496	4.44	5.82
02	579	746	663	8.29	10.87
03	746	913	829	11.15	14.61
04	913	1080	996	11.92	15.63
05	1080	1247	1163	12.02	15.75
06	1247	1414	1330	10.83	14.19
07	1414	1581	1497	9.23	12.09
08	1581	1748	1664	6.10	7.99
09	1748	1915	1831	2.14	2.80
10	1915	2082	1998	0.20	0.26
計				76.31	100.00

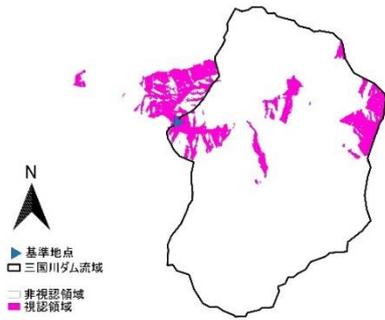


図 3 視認領域とダム流域

4.2. 衛星画像

USGS⁴⁾ が公開している landsat 7 号及び 8 号の衛星の画像データから、雲量 50 % 以下の画像 13 枚を得た。積雪判別には積雪指標 NDSI を用いた。積雪判別の閾値は 0.4 とし、0.4 以上で積雪と判定している。積雪があり、視認領域であるものを S1、非視認領域を S2、積雪がなく、視認領域であるものを S3、非視認領域を S4 とすると、式 1、式 2 から視認領域とダム領域全体の積雪面積率 (%) を求めることができる。

$$\text{視認領域の積雪率} = \left(\frac{S1}{S1 + S3} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{ダム流域全体の積雪率} = \left(\frac{S1 + S2}{S1 + S2 + S3 + S4} \right) \times 100 \quad (2)$$

4.3. 地上撮影画像

国土交通省北陸地方整備局三国川ダム管理所から提供された地上撮影画像 234 枚を使用した。撮影場所は、三国川ダム左岸である。撮影期間は、2019 年 3 月 15 日から 7 月 7 日までであり、毎日 13 時、15 時に撮影される。地上撮影画像がどの標高帯に区分されるか把握するために、模擬写真を作成した。作成にあたって、QGIS ver 3.4 の 3D マップビューアーを使用した。この模擬写真と地上撮影画像の重ね合わせ図を図 4 に示す。

積雪判別の閾値には吉田ら⁵⁾の方法を参考に赤バンドを対象に設定した。目視で積雪、非積雪を判別して各々にサンプル領域を設定し、赤バンドの中央値を算出した。この中央値に対する平均値を積雪、非積雪領域ごとに算出して、両者の中央値を閾値とした。標高帯ごとに、閾値以上のピクセル数及び対象領域全体でのピクセル数を合計し、積雪面積率を求めた。プログラムによって、画像毎に標高帯別の積雪面積率を求め、3 日間の単純移動平均によって日単位の積雪面積率を算出した。

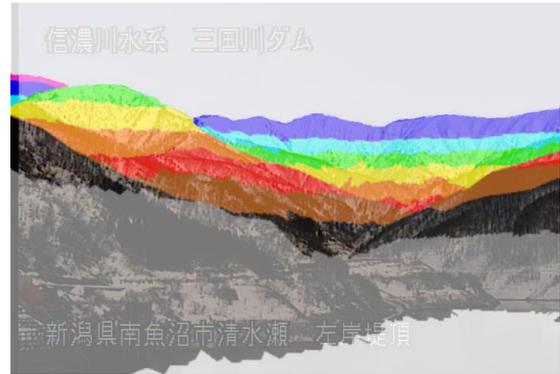


図 4 模擬写真と地上撮影画像の重ね合わせ

4.4. 分布型融雪モデル

本研究で用いる融雪モデルは、式 3 である。

$$M = Mr + Md + Mp + Mb \quad (3)$$

ここで、 M は総融雪能 (mm)、 Mr は放射収支による融雪能 (mm)、 Mp は降雨による融雪能 (mm)、 Md は顕熱による融雪能 (mm)、 Mb は底面融雪能 (mm) である。底面融雪能は、2.0 mm/day の固定値とした。これらは、小池ら⁶⁾の融雪モデルをベースに、放射収支の計算に太田⁷⁾のモデルを用いて、底面融雪を考慮したものである。入力データには気象庁 AMeDAS 観測所の降水量、気温、日照時間、国土交通省雨量観測所の降水量データを使用した。いずれも、時間単位データである。グリッドは、ダム流域を 100 m × 100 m の格子に分割した。グリッド総数は、7626 である。融雪量は、グリッド毎に出力される。計算期間は 2018 年 10 月 1 日から 2019 年 6 月 30 日である。計算フローを図 5 に示す。 T_0 は、観測所の気温 (°C)、 T_x は、グリッドの気温 (°C) である。

4.5. 計算流出高と積雪面積率を考慮した流出高

実測値との比較には、計算流出高 (mm/day) とした。これは、グリッドごとに算出される融雪量と降雨量を足し合わせ、流域平均化したものである。また、融雪能は、積雪のある領域の変化によって増減すると考えられる。よって、融雪モデルから求められる融雪能を積雪面積率で乗じ、積雪面積の考慮をした (式 4)。

$$M = \sum_{i=1}^{10} (M(i) \times As(i)) \quad (4)$$

ここで、 i は標高帯、 As は積雪面積率である。総融雪能 M は、各標高帯で計算し足し合わせたものである。この融雪能から求められる融雪量と降雨量の和を、積雪面積率を考慮した計算流出高 (mm/day) とした。

4.6. パラメータ同定

融雪モデルは、標高及び捕捉損失補正（以後、風速補正）が存在する。標高及び風速補正の補正方法を式5、式6とする。

$$P_{lo} = RS_{lo} P_{gauge} \quad (5)$$

$$P_{lh} = (1 + RS_{hi}(h - h_0)) P_{lo} \quad (6)$$

ここで、 P_{lo} は風速補正後の降雪量、 RS_{lo} は風速補正係数、 P_{gauge} は雨雪判別後の降水量、 P_{lh} は標高補正後の降雪量、 RS_{hi} は標高補正係数、 h はグリッドの標高、 h_0 は観測点の標高である。また、気温の補正には、気温減率を使用する。これらの補正は、地域性が強く、また、積雪水量を計算するにあたって重要であるため、各パラメータを同定する必要がある。気温減率の設定は、新潟県、福島県及び群馬県の降雪があるAMeDAS観測所から、月平均気温を取得し、気温減率を算出した。計算期間は、2000年1月から2019年12月までである。月ごとの気温減率を図6に示す。次に、標高補正係数及び風速補正係数の決定には、RMSE（二乗平均誤差）を使用した。モデルパラメータの同定期間は、2015年から2018年である。積雪・融雪を考慮して10月1日から翌年9月30日までの期間を1計算単位年とした。決定したパラメータを表2に示す。

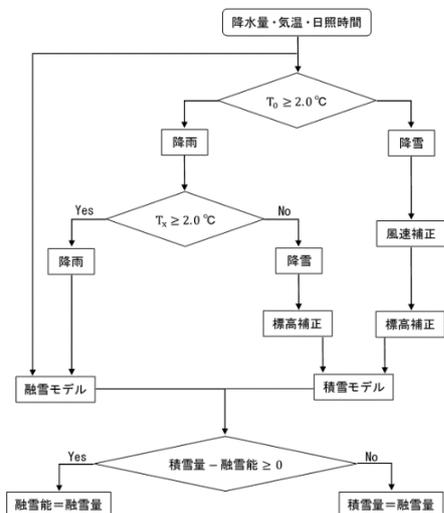


図5 融雪モデルフロー図（山田²⁾より引用）

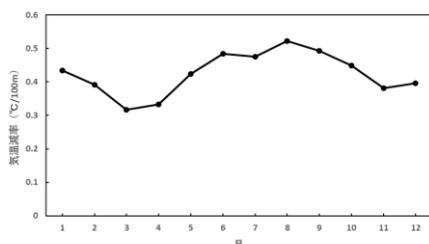


図6 20年平均 月別気温減率 (°C/100 m)

表2 決定したパラメータ

標高補正係数	0.0025
風速補正係数	1.5

5. 結果と考察

衛星画像における視認領域とダム流域全体の積雪面積率の推移を図7に、相関係数を表3に示す。図7において、両者の積雪面積率は、おおむね一致して推移している。4月8日では、標高帯09で積雪面積が大きく減少していることがわかる。これは、雲による影響や、ダム流域に対して標高帯09の面積が小さいため誤差が大きくなることがあげられる。相関係数を表3は、いずれの標高帯も0.9を上回る。よって、衛星画像上における視認領域とダム流域全体との積雪面積率には強い正の相関があると考えられる。

地上撮影画像（13時撮影）の積雪面積率推移を図8に示す。各標高帯は、月日の経過で積雪面積率は、減少していることがわかる。しかし、標高帯01では、5月から増加している。これは、ダム施設などが積雪ありと判定されていることが考えられる。また、標高帯09では、6月から積雪面積率が増加している。積雪面積率の閾値は、計算期間を通して一定としているため、積雪判定で誤判別を起こしていると思われる。

衛星画像における視認領域と地上撮影画像の積雪面積率の散布図を図8に、相関係数を表4に示す。標高の低い標高帯01や03は、積雪面積を過少に評価し、標高の高い標高帯09では、過大に評価している。また、相関係数についても、標高帯01で相関はなく、標高帯09、10で正の相関がある結果になった。一方で、その他の標高帯は、強い正の相関があるとわかった。よって、一部の標高帯を除き、地上撮影画像の積雪面積率によって、ダム流域の積雪面積率を推定することは、可能といえるだろう。

最後に、実測流出高と計算流出高（図10）の比較を行う。計算流出高は、実測流出高に比べ過大となっている。これは、標高補正係数及び風速補正係数の決定には、月単位の水収支で判断したため、融雪期では誤差が大きくなったと考える。補正後は、降雨の影響はあるが、概ね実測流出高に近づくことができている。

表 3 視認領域とダム流域の積雪面積率の相関係数

	標高分割
標高帯01	0.9681
標高帯02	0.9652
標高帯03	0.9565
標高帯04	0.9712
標高帯05	0.9742
標高帯06	0.9716
標高帯07	0.9963
標高帯08	0.9841
標高帯09	0.9843
標高帯10	0.9482

表 4 衛星画像上の視認領域と地上撮影画像の

積雪面積率の相関係数

	相関係数
標高帯01	-0.4903
標高帯02	0.9107
標高帯03	0.9783
標高帯04	0.9738
標高帯05	0.9635
標高帯06	0.9950
標高帯07	0.9883
標高帯08	0.8912
標高帯09	0.3229
標高帯10	0.7184

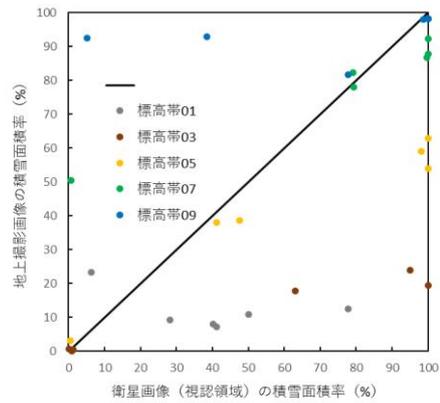


図 9 積雪面積率の散布図

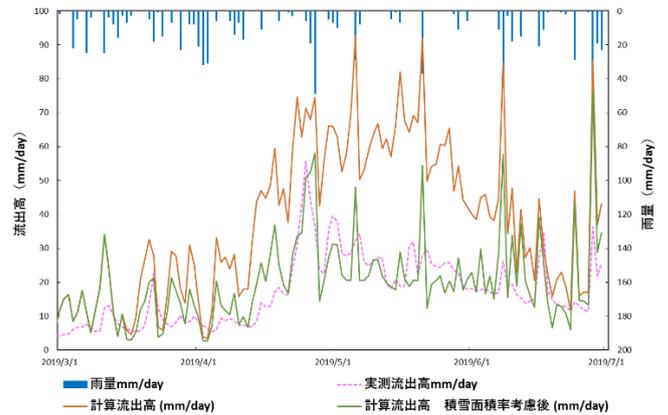


図 10 実測流出高, 計算流出高, 積雪面積率考慮後の計算流出高

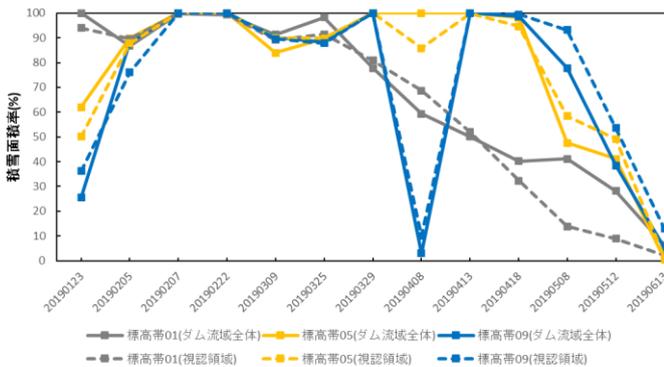


図 7 視認領域とダム流域全体の積雪面積率推移

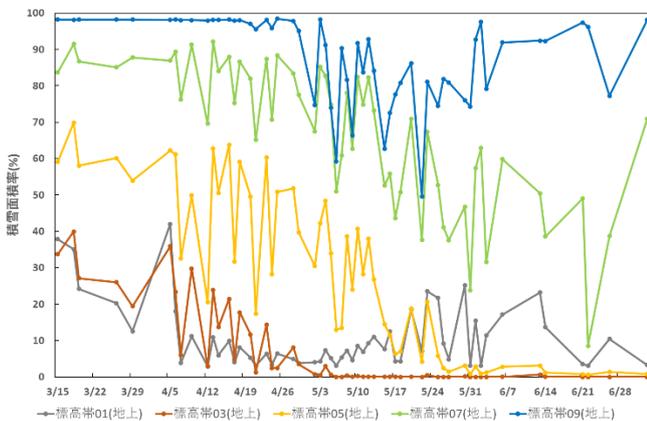


図 8 地上撮影画像 (13時撮影) の積雪面積率推移

6. 参考文献

- 1) 三国川ダム管理所, <<http://www.hrr.mlit.go.jp/saguri/>> 最終閲覧日, 2020年10月14日
- 2) 山田嵩: 衛星画像及び地上撮影画像による積雪面積情報を考慮した融雪流出解析, 長岡技術科学大学修士論文, 2019.
- 3) 西潟優希, 陸旻皎, 山田嵩: 三国川流域における衛星画像と地上撮影画像による積雪情報を考慮した融雪流出解析, 第37回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, 2019.
- 3) USGS: LandsatLookViewer, <<https://landsatlook.usgs.gov/>> 最終閲覧日, 2020年8月15日
- 5) 吉田京平, 力丸厚, 高橋一義, 坂田健太: 山岳積雪領域の地上観測画像と衛星画像の照合と比較検討, 第24回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, pp.86-89, 2006.
- 6) 小池俊雄・高橋裕・吉野昭一: 融雪量分布のモデル化に関する研究, 土木学会論文集, pp165-174, 1985
- 7) 太田岳史: 森林内外における積雪面上の純放射量の推定と表層融雪量, 水文・水資源学会誌, pp19-26, 1992.