

45. 衛星データを用いた白川ダム集水域の融雪出水の評価

EVALUATION OF SNOWMELT RUNOFF IN THE SHIRAKAWA DAM BASIN BY USING SATELLITE DATA

小川 かおり* 真野 明* 前川 勝朗**
Kaori OGAWA, Akira MANO, and Katsuro MAEKAWA

ABSTRACT: The Shirakawa dam basin, the upper reach of the Mogami River, is one of the heaviest snowfall areas in Japan and has sometimes caused snowmelt flood. A method using satellite data and ground data on snow depth is developed to evaluate the snowmelt runoff. Snow covered area is obtained by comparing NOAA/AVHRR data with the ground data that also gives snowmelt rate. Addition of snowmelt discharge calculated from the area, melt rate, and the density and the rainfall discharge is compared with the observed discharge flowing into the dam.

KEYWORDS: snowmelt, Shirakawa dam

1.はじめに

日本海側を中心とした冬期の積雪は融雪期において安定した水資源となるが、一方でそれは融雪洪水を引き起こす可能性を有している。従って融雪流出機構の解明は積雪の管理・利用の上で重要な課題となる。しかし、解析対象となる広範囲に及ぶ積雪域を現地観測することは非常に困難なことであり、これまでそれに代わる数々の手段がとられてきた。

本研究では NOAA 衛星データのうち比較的容易に入手できるものと、アメダス・建設省で現地観測されているデータを用いることにより融雪流量を評価し、その妥当性について検討することを目的とする。

2.解析対象

最上川は図 1 にあるように朝日山地、飯豊山地、奥羽山脈等に囲まれ、流域面積を 7040km²、流路延長 229km を有する 1 級河川である。境界の山地は標高 1000～2000m が大部分であり、冬期には多量の降雪がもたらされる。積雪は 3 月中旬より融けだし、約 2 ヶ月間に及ぶ融雪出水をもたらし、融雪期の流出量は年間流出量の約 40% をも占めている。

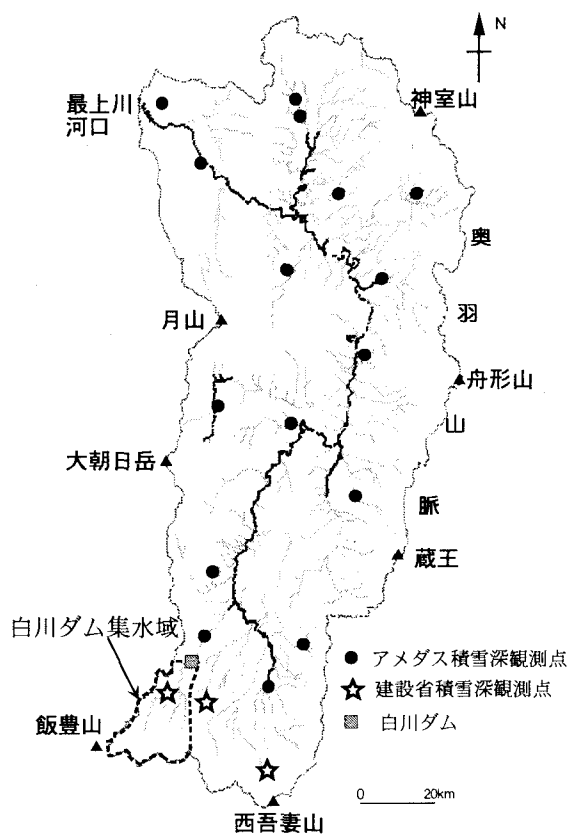


図 1 最上川流域概要

*東北大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Tohoku University

**山形大学農学部 Department of Agriculture, Yamagata University

対象としたのは上流部の支川，白川にある白川ダム集水域である．この地域が日本有数の豪雪地帯であるということ，及び白川ダム流入量のデータがそろっていることから今回の対象流域とした．最終的には最上川流域全体を対象とする予定である．

解析対象期間は 1996 年と 1997 年の 3 月から 5 月の融雪期とした．

3. 解析方法

3.1 解析方法概要

本研究では国土地理院によって作成された国土数値情報を用いてメッシュサイズ $1\text{km} \times 1\text{km}$ の擬河道網を作成し，擬河道網と衛星データを重ねあわせることによって白川ダム集水域内の残雪面積を求める．擬河道網は流出解析で用いるものとして作成したが，今回は流出解析を行っていないので単に集水域を知る手段として用いた．次に，求めた残雪面積と積雪深および積雪水換算係数より融雪流量を計算する．最後に，計算した融雪流量と白川ダムにおいて観測された流入量，降水量，気温等とを比較する．降水量は，流域降水流量として流量換算した．

3.2 擬河道網の作成

作成は市毛ら(1997)の方法に倣って行った．使用したデータは，国土数値情報の流域界位置データ，標高データ，流路位置データである．まず流域界データより最上川の流域を決定する．次に標高データ及び流路位置データを用いて流域内の各メッシュ点において最急勾配の方向に水が流れるとして全ての流路が河口までつながるようにした．完成した擬河道網を図 2 に示す．

擬河道網では本川だけでなく支川の位置も表しているため，今回のように支川を対象として残雪面積を求める場合に適している．

3.3 衛星データの利用

本研究では衛星データとして JAIDAS（日本画像データベース）のデータを用いた．JAIDAS とは NOAA 衛星の AVHRR データを用いて作成した画像データベースで，東北大学の大型計算機センターが公開しているものである．AVHRR センサには 1～5 チャンネルがあるが，JAIDAS で公開されているのはアルベドを表示している ch.2 と，輝度温度値を表示している ch.4 のみである．

1996，1997 年の可視画像から，最上川流域全体に雲のかかっていない，比較的快晴に近い日のものを選ぶ．積雪域は無雪域に比べてアルベドが大きいため，全く雲が無い場合 ch.2 で雪域は簡単に見分けられる．しかし流域全体が快晴である状態の画像は希であり，雲の存在を考慮しなければならない．高層の雲であるなら，その温度が極端に低いために赤外(ch.4)画像で分離することができるのだが，低層の雲を可視と赤外の情報のみで分離することは難しい．風間ら(1992)は ch.3 の波長帯が水粒の雲に強い反射を示す性質を用いて低層の雲の分離を行った．しかし，現在 ch.3 のデータは一般公開されておらず，入手に難を要する．また，雲域，積雪域，無雪域の判別には NOAA/AVHRR データを GTD(Grand Truth Data)と比較する作業が重要となる．従って本研究では，NOAA/AVHRR データのうち JAIDAS で公開されている ch.2 と ch.4 のみを利用し，GTD と比較することにより残雪域の推定を行った．

方法は以下の通りである．選んだ画像全てについて図 3 に示すようなアルベドと輝度温度値の頻度分布を作成する．この頻度分布から，アルベドが極端に低く頻度が高い部分が海域，アルベドが低く温度が高い部分が無雪状態の陸地，アルベドが高く温度が極端に低いものが雲，と考えられ，雪域決

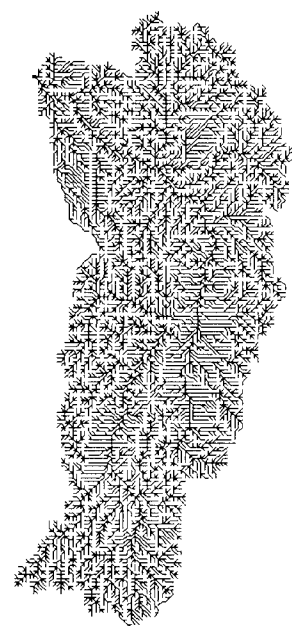


図 2 擬河道網

定の閾値となるアルベドと輝度温度値の目安が決定される。次に積雪深観測点でのアルベド及び輝度温度値を調べ、閾値をもとに擬河道網上に描いた雪域において無雪域（雪域）であるのに雪域（無雪域）となっている部分がないかどうかを確かめ、さらに衛星画像と見比べることによって閾値の補正を行う。最終的に決定された閾値をもとに再び擬河道網上に雪を描き、白川ダム集水域の残雪面積を調べる。

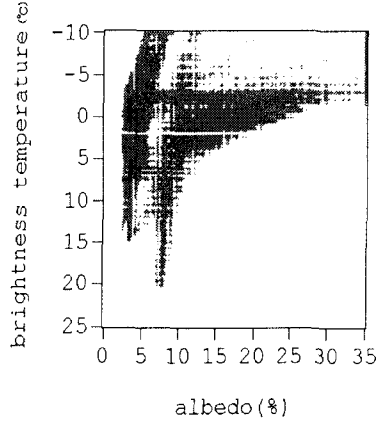


図 3 アルベドと輝度温度値の頻度分布

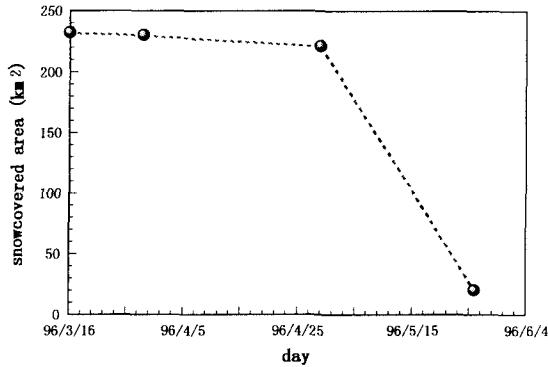


図 4 残雪面積の変化（1996 年）

3.4 融雪流量の算出

融雪流量の算出には以下の式を用いた。

$$Q_s = -\frac{d(Ahm)}{dt} = -(hm\frac{dA}{dt} + Am\frac{dh}{dt} + Ah\frac{dm}{dt}) \tag{3.1}$$

ここで Q_s は白川ダムを流下する融雪流量(m^3/s)、 A は衛星データより求めた残雪面積(m^2)、 h は積雪深(m)、 m は平均積雪水換算係数を表す。各パラメータの考え方を以下に示す。

(A)残雪面積

残雪面積を推定する際に利用できる衛星画像、すなわち最上川流域全体がほぼ快晴となっている画像は 1 ヶ月に 1, 2 枚の場合が多く、残雪面積の日変化を推定することが難しい。そこで、ダム集水域内のほぼ全体が雪域であり残雪面積が変化しない期間と、残雪面積が減少する期間とに分け、図 4 のようにそれぞれの期間において線形変化すると仮定した。

(B)積雪深

白川ダム集水域内で得られた積雪深データは下屋地観測所（標高 370m）において観測されたものに限られるので、集水域内の各標高における積雪深を仮想的に求める必要がある。そこで、最上川流域全体で得られた積雪深データが 17 点であることを利用し、まず最上川流域全体について積雪深と標高の関係を調べる。図 5 に 1996 年における標高と積雪深の関係を示す。積雪深は高度に従って増加しているので、線形近似によって回帰直線を求め、各標高における積雪深を求めた。回帰直線の傾きはいずれの日も 0.40～0.43 となっ

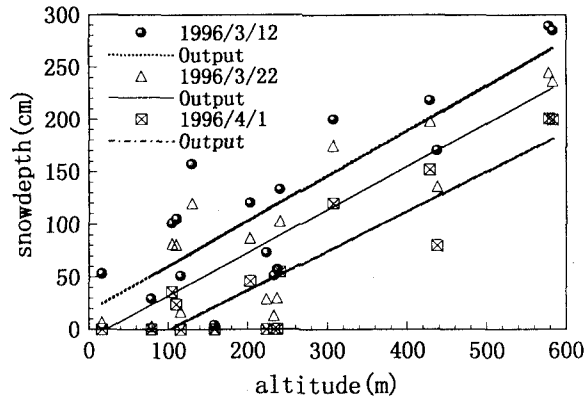


図 5 標高と積雪深の関係（1996 年）

ており、このことは積雪深の減少速度が標高によらないことを表している。よって積雪深の変化率(dh/dt)は下屋地でのデータから求めたものを代表値とした。下屋地で積雪が無くなったあとは、集水域内の残雪面積がゼロになるときに最大標高での積雪深がゼロになるとし、その間の積雪深変化率は一定と仮定した。

(C)平均水換算係数

積雪水換算係数は積雪密度と同じ値であり、風間(1997)によれば最大積雪深が 50cm を越すような地域の場合積雪密度は融雪初期には $0.2 \sim 0.3 \text{ g/cm}^3$ 、融雪後期には 0.4 g/cm^3 以上になることがわかっている。本研究では3月1日から5月31日に $0.2 \sim 0.5 \text{ g/cm}^3$ まで変化するとし、白川ダム集水域内では一定と仮定した。

4.解析結果

4.1 残雪域の推定

前章の方法により最終的に決定したアルベドの閾値を表 1 に示す。1996 年は上昇する一方だが、1997 年はそのような傾向がない。AVHRR センサの可視チャンネル(ch.2)の画素値であるアルベドは、実際の反射率ではなく地面からの可視反射量であるため、太陽高度によって閾値は変わる。雪域が無雪域に対して大きいときは、太陽高度によって閾値も上昇する。しかし無雪域が大きい割合を占めるとアルベドの低い無雪域の影響が大きく、閾値は低くなる。また流域全体に薄い雲がかかっている場合は、閾値は高くなる。以上のように閾値は様々な条件によって変化する値であり、一定の傾向を示すものではないと考えられる。図 6 に 1996 年における残雪域の変化を示す。

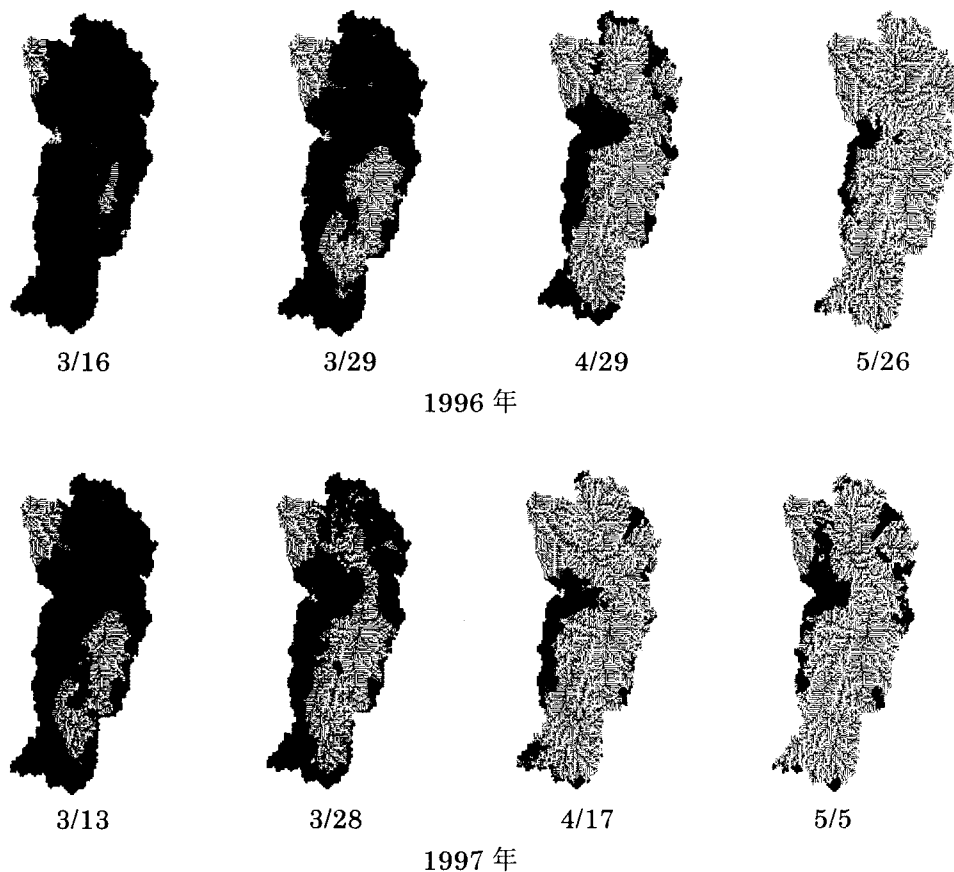


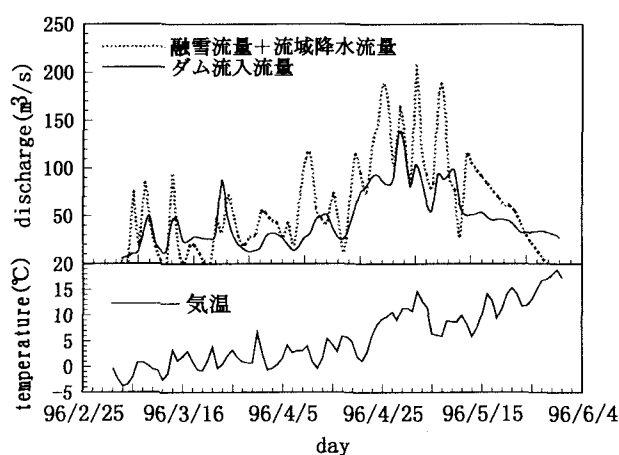
図 6 残雪域の変化

表 1 アルベドの閾値

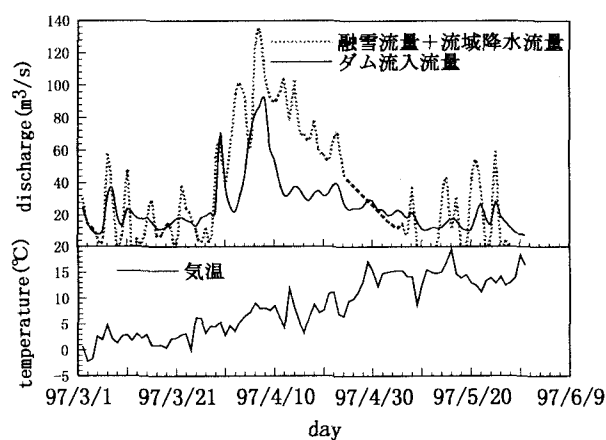
年	1996 年				1997 年			
日付	3/16	3/29	4/29	5/26	3/13	3/28	4/17	5/5
アルベドの閾値(%)	9.3	12.3	12.6	17.2	10.7	9.3	13.1	9.2

4.2 融雪流量

図 7 に融雪流量と流域降水流量の和、ダム流入量および気温との比較の結果を示す。ここで、降水の流出係数は 1 としている。1996、1997 年とも流量のピークの時間は非常に良い一致を示しており、出水の時期を良く表していると言える。また、気温が急上昇すると流量が急増するという傾向が見られ、気温が出水に大きく影響を受けていることがわかる。1996 年の 5 月中旬から下旬・1997 年の 4 月中旬から 5 月中旬は、ピークを持ちながらも一定の割合で減少しており、不自然な結果になっている。これは、下屋地で積雪が無くなった後の積雪深変化率にある一定値を与えたことによる。すなわち、融雪流量は積雪深変化率に大きく依存する。しかし、実測されている積雪深は標高 800m 付近のものまでのため、標高の高い部分に残った積雪の変化率を求めることは難しい。



1996 年



1997 年

図 7 融雪流量と流域降水流量の和とダム流入量、気温との関係

5.おわりに

本研究では、NOAA/AVHRR データと擬河道網を重ね合わせるにより白川ダム集水域における残雪面積を推定した。試行錯誤の作業が多いが、現地調査の手間がかからないという利点がある。

また、残雪面積、積雪深、積雪水換算係数を用いて融雪流量を求めた。融雪流量と流域降水流量の和と白川ダムにおいて観測された流入量はピークの時間が非常に良く一致している。しかし定量的解析を行うには、降水の損失およびその他出水に影響を与える要因を考慮すること、積雪深変化率について再検討することが必要である。

最後に、建設省東北地方建設局山形工事事務所には貴重なデータを提供していただいた。また、河川整備基金より研究費の助成を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1)市毛輝和・八代義信・真野明：阿武隈川における 1996 年 17 号台風の出水解析，第 5 回地球環境シンポジウム講演集，pp.203-208,1997.
- 2)風間聡・川村宏・枝松芳枝・沢本正樹：AVHRR/NOAA データによる積雪域抽出パラメータの経時変化，日本リモートセンシング学会誌，Vol.12,No.4,pp.59-69,1992.
- 3)風間聡：広域における積雪全層密度推定に関する研究，水工学論文集第 41 巻，pp.245-250,1997.