

# 融雪期の積雪分布推定と流入量予測の 精度向上に向けた検討について

札幌開発建設部 豊平川ダム統合管理事務所 管理課

○高橋 和政  
窪田 政浩  
宮原 雅幸

融雪期のダム管理では、気象予報と積雪水量から流入量予測を行うことで融雪出水に備えているが、現状用いるデータは広範囲な気象予報と一部の地点での積雪観測によるため、的確な流入量予測が出来ない場合があり、管理上の課題となっている。本稿では、積雪分布を面的に把握するため、衛星データによる積雪分布の推定手法を検討した。また、ダム流域内の微気象を適正に把握するため、高解像度の数値予報モデルを選定し、数値予報モデルデータの補正手法を検討した。

キーワード：積雪、流入量、衛星データ、数値予報モデル

## 1. はじめに

平成12年5月に発生した大雨の際に豊平峡ダムにおいて「ただし書き操作(異常洪水時防災操作)」を行ったことが契機となり、豊平峡・定山溪ダムでは融雪出水の予測手法の検討が進められ、平成19年度から融雪出水予測を運用している。しかし、この予測手法では、ダム流域内で積雪の有無が混在する時期に積雪分布の推定誤差が大きくなり融雪予測精度が低下している。また、この時期は貯水池を平常時最高貯水位で維持する時期と重なることから、融雪予測精度の低下が出水時のダム操作において課題となっている。さらに、過去3度(昭和63年11月、平成2年11月、平成12年5月)のただし書き操作は、いずれも積雪の有無が混在する時期であったことから、この時期の融雪予測精度を確保する上で、積雪分布の推定精度向上が不可欠である。

上記を背景として、平成28・29年度の2か年において融雪期の流入量予測と積雪分布の推定精度向上に向けた検討を行っており、本稿では、検討1年目となる平成28年度の検討結果について報告する。検討1年目は、積雪分布の推定誤差の要因として、積雪観測により得られる点データのみでは面的な積雪分布を適正に反映できていないと考えられることから、衛星データを用いた積雪分布推定手法を検討した。また、もう一つの要因として、現行の融雪出水予測に用いている数値予報データの格子間隔が20kmと広いと、ダム流域内の微気象を適正に反映できていないと考えられることから、新たに格子間隔が狭い高解像度の数値予報モデルを選定し、数値予報モデルデータの補正手法を検討した。

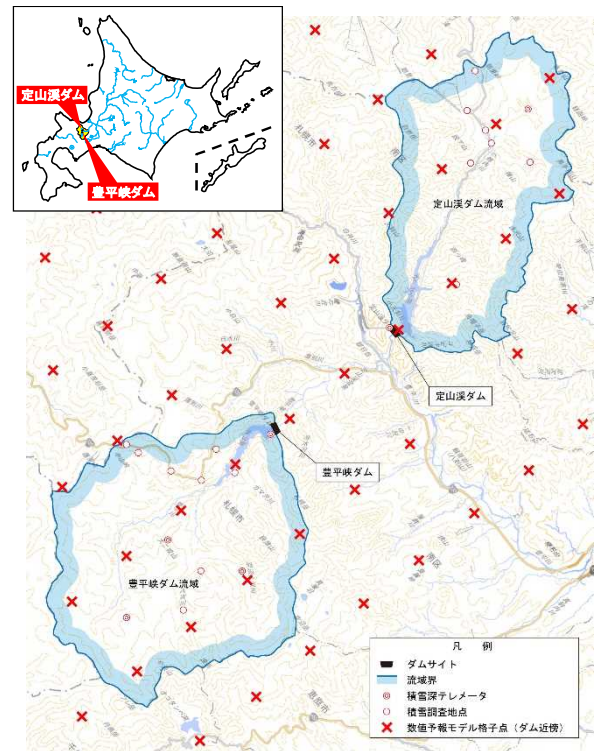


図-1 豊平峡・定山溪ダム流域図<sup>1)</sup>

## 2. 衛星データの活用検討

### (1) 積雪調査

図-1に示すダム流域の積雪深、積雪密度、積雪水量の変動傾向を把握し、積雪分布の推定精度向上に資することを目的として、既往の定期積雪調査地点及びテレメータによる積雪深観測地点の空白域を補間するため、地形、積雪、融雪の各特性を踏まえて積雪調査を実施した。

表-1 衛星データ比較表

衛星名	ALOS-2	Aqua	COSMO-SkyMed	FORMOSAT-2	Landsat-8	RapidEye	Terra	THEOS
国籍	日本	アメリカ	イタリア	台湾	アメリカ	ドイツ	アメリカ	タイ
打ち上げ年	2014年	2002年	2007年	2004年	2013年	2008年	1999年	2008年
設計寿命	5~7年	6年	5年	5年	5年	7年以上	6年	5年以上
運用機関	JAXA	NASA/INPE/JAXA	ASI/MiD	NSPO	USGS/NASA	DLR	NASA/GSA/METI	GISTDA
観測項目	陸域	水循環	陸域・海氷・地形等	土地利用等	地球全体	森林等	陸域、雪氷圏等	土地利用等
軌道	太陽同期準回帰軌道	太陽同期円軌道	太陽同期ダウンダスク軌道	太陽同期円軌道	太陽同期準回帰軌道	太陽同期	太陽同期円軌道	太陽同期準回帰軌道
高度	628km	705km	619.6km	891km	705km	630km	705km	822km
周期	97分	98.8分	97.1分	102.9分	99分	96.7分	98.88分	101.4分
軌道傾斜角	97.9度	98.2度	97.86度	99.14度	98.2度	98度	98.3度	98.7度
回帰	14日	16日	16日	1日(最大観測頻度)	16日	1日	16日	26日(同一地域観測間隔)
観測幅	50~350km	2,330km	10~200km	24km	185km	77km	60km	90km
観測センサ	PALSAR-2	MODIS	SAR-2000	RSI	OLI	REIS	ASTER	MS Camera
周波数	1,236.5 ~ 1,278.5MHz	0.405 ~ 14.385 μm	9.6GHz	450~950nmまたは450~520nm	433~1,390nm	440~850nm	0.52~10.95 μm	0.45~0.90 μm
解像度	3~100m	250~1,000m	1~100m	2mまたは8m	15~30m	6.5m	15~90m	15m

算出積雪深 (リモートセンシング) [m]

41	43	30	35	39	34
35	40	37	35	32	30
38	35	36	31	31	33
40	37	34	32	30	32
38	35	36	30	31	30

■ ダム地点メッシュ

ダム地点積雪実測値  
(衛星撮影日) [cm]

15

積雪深補正係数  
 $\alpha$  [cm/m] = 0.5

算出積雪深 (補正後) [cm]

21	22	15	18	20	17
18	20	19	18	16	15
19	18	18	16	16	17
20	18	17	16	15	16
19	18	18	15	16	15

■ ダム地点メッシュ

図-2 リモートセンシング推定積雪深補正方法模式図

## (2) 衛星データの選定

衛星データ関連プラットフォーム等<sup>2)</sup>で公開されている情報を基に、観測バンド(可視域)・解像度(分解能)・撮影条件(周回数、観測幅)・データ補正方法等の各衛星

データの比較を表-1に示す。

以下の理由から、衛星データ活用の実現性が高いと思われる「ALOS-2(だいち2号)」を選定した。

### 【選定理由】

- 打ち上げ年と設計寿命から、今後のデータ確保の信頼度が高い。
- 回帰日数が14日と比較的短い。
- 観測幅が広範囲である。
- 高解像度の衛星データが得られる。
- 先代衛星を活用した積雪分布の推定事例がある。

### (3) 積雪分布の推定手法

衛星データから算出した積雪深にはリモートセンシングによる測定誤差を多分に含んでいることから、積雪分布については既存の文献等<sup>3)</sup>を踏まえ、衛星データ、基盤地図情報(国土地理院)標高データ、ダム流域内の積雪深観測値、前記の積雪調査から得られる標高に対する積雪深の変化率に基づいて、以下の手法・手順により推定することとした。図-2にリモートセンシング推定積雪深補正方法模式図を示す。

【衛星データがダム流域全体を網羅している(データの欠損がない場合)】

- 衛星データから得られる積雪面標高と地表面標高の差分から、積雪深(メッシュ値)を算出する。
- ダム地点の該当メッシュにおける積雪深に対する、衛星画像撮影日のダム地点の実測積雪深の比率(補正係数)を算出し、その比率をダム流域全体の積雪深のメッシュ値に乘じ、積雪深分布を補正する。

表-2 数値予報モデル比較表

データ名	全球数値予報モデルGPV (GSM日本域)	メソ数値予報モデルGPV (MSM)	局地数値予報モデルGPV (LFM)	週間アンサンブルGPV
予報内容	分布予報、時系列予報、府県天気予報、台風予報、週間天気予報、航空気象情報	防災気象情報、航空気象情報	航空気象情報、防災気象情報	週間天気予報
予報領域	地球全体	日本周辺	日本周辺	地球全体
配信領域	北緯20度～50度 東経120度～150度	北緯22.4度～47.6度 東経120度～150度	北緯22.4度～47.6度 東経120度～150度	北緯22.5度～71.25度 東経90度～180度
格子間隔	20km 等緯度等経度 0.2度×0.25度	5km 等緯度等経度 0.05度×0.0625度	2km 等緯度等経度 0.02度×0.025度	40km 等緯度等経度 1.25度×1.25度
予報期間	84時間 (地上物理量は1時間間隔) 264時間 (地上物理量は3時間間隔)	39時間 (地上物理量は1時間間隔)	9時間 (地上物理量は30分間隔)	264時間 (6時間間隔)
実行回数	84時間予報の場合、1日4回 (00, 06, 12, 18UTC) 264時間予報の場合、1日1回 (12UTC)	1日8回 (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21UTC)	毎時	1日2回 (00, 12UTC)
データ形式	GRIB2	GRIB2	GRIB2	GRIB2
データ内容	海面更正気圧、地上気圧、風(東西・南北方向)、気温、相対湿度、積算降水量、雲量(全層、上・中・下層)	海面更正気圧、地上気圧、風(東西・南北方向)、気温、相対湿度、時間降水量、雲量(全層、上・中・下層)	海面更正気圧、地上気圧、風(東西・南北方向)、気温、相対湿度、積算降水量、雲量(全層、上・中・下層)	海面更正気圧、地上気圧、風(東西・南北方向)、気温、相対湿度、積算降水量、雲量(全層)

※UTC (協定世界時) に9時間を加えた時間がJST (日本標準時) となる。

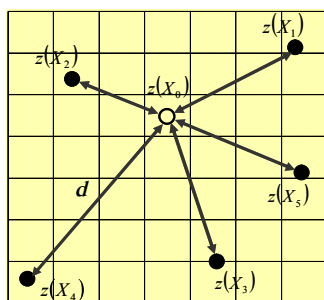


図-3 空間補間イメージ

に対する積雪深の変化率を基に、式(1a)に示す空間補間法により積雪深の空間分布を推定する。図-3に空間補間イメージを示す。

$$z(X_0) = \sum_{i=1}^N [z(X_i)/d_i] / \sum_{i=1}^N [1/d_i] \quad (1a)$$

ここで、 $z(X_0)$ は任意メッシュ $X_0$ における推定値、 $N$ は $d$ 離れた観測地点と対をなす観測データ数、 $z(X_i)$ は観測地点 $X_i$ における観測データ、 $d$ は観測地点間の距離である。

(d) (c)の積雪深分布に、(b)の補正係数を乗じ、補正する。衛星データが網羅されていない範囲については、(c)の積雪深分布を採用する。図-4に積雪深メッシュデータ作成模式図を示す。

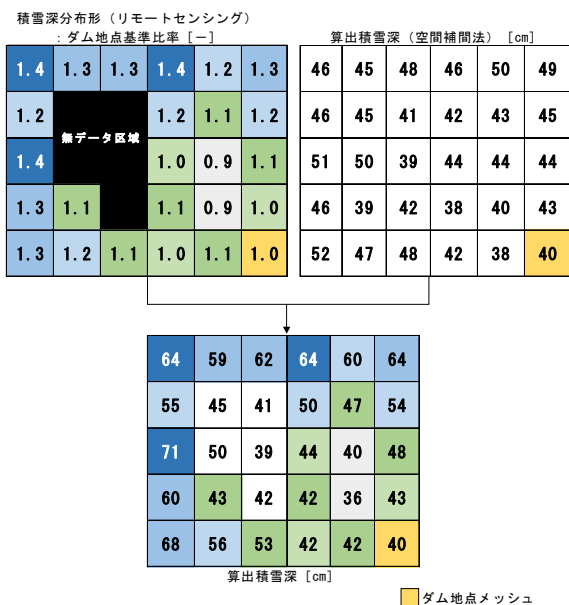


図-4 積雪深メッシュデータ作成模式図

【衛星データがダム流域全体を網羅していない(データの欠損がある)場合】

(c) 積雪深観測データ及び積雪調査から得られた標高

#### 4. 数値予報モデルの活用検討

##### (1) 数値予報モデルの選定

現行の融雪出水予測に用いている全球数値予報モデルGPV(GSM日本域)では、ダム流域内の微気象を適正に反映できていないと考えられるため、各数値予報モデルの比較を表-2に示す。以下の理由から、新たなモデルとして活用の実現性が高いと思われる「メソ数値予報モデルGPV(MSM)」を選定した。

##### 【選定理由】

- (a) 格子間隔が狭い。
- (b) 1日の予報実行回数が多い。
- (c) 洪水予測での採用実績がある。

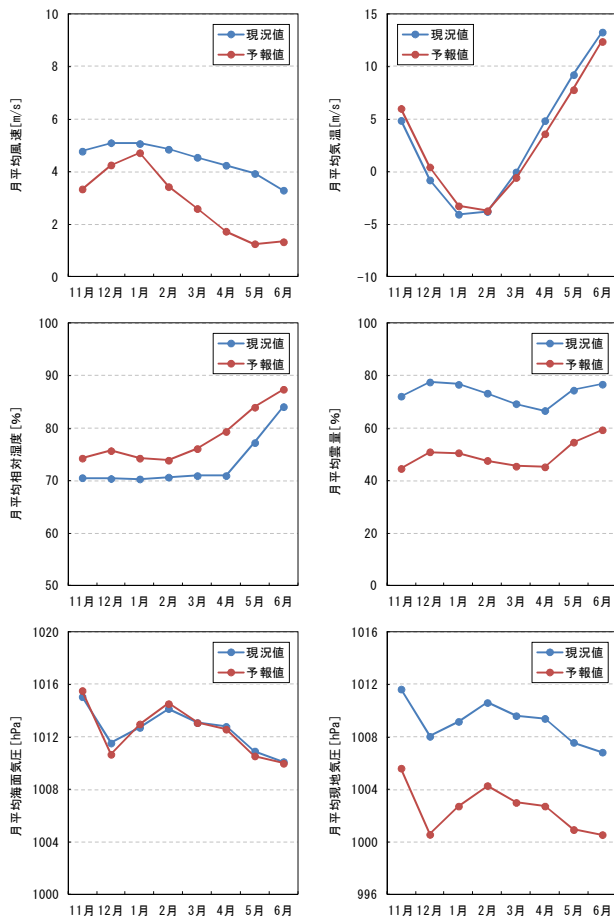


図-5 現況値(気象観測値)及び予報値の月変動状況

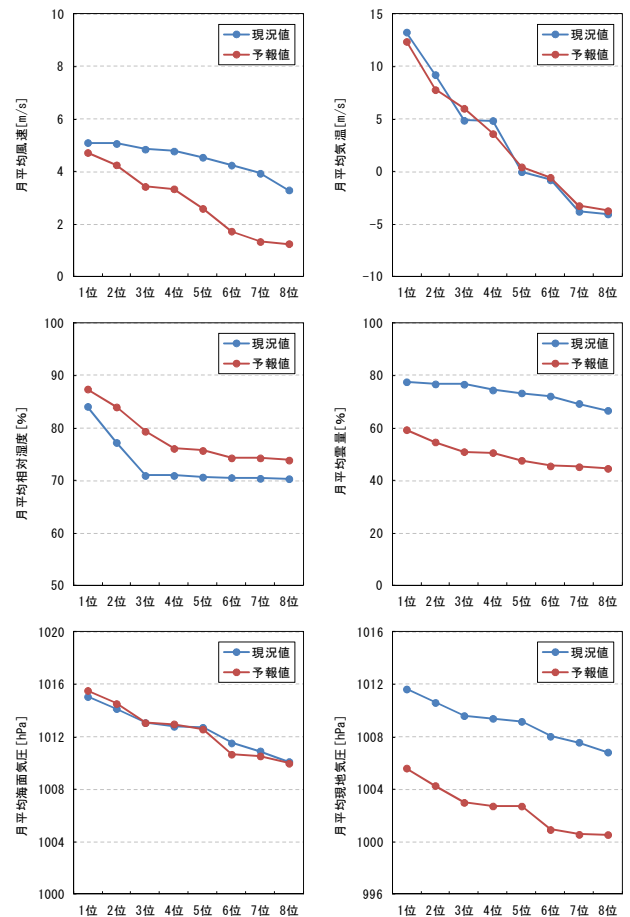


図-6 現況値(気象観測値)及び予報値の順位に対する変動状況

## (2) 気象観測値(実測データ)の補正

MSMによる気象予報値はメッシュデータ、気象観測値は点データのため、気象観測値を気象予報値に合わせてメッシュデータに補正する必要がある。

気象観測値の補正は、一般的にダム流域における観測地点の相関性をもとに重み付けを行い、気象観測値と観測地点の重み係数の加重平均に基づく空間補間法を適用されている<sup>9)</sup>。

観測地点の相関性は、空間データの相関性を関数化した指標であるバリオグラムを用いて、気象要素毎に観測地点間の相関関係の有無を検証するのが一般的であるが、本検討で扱う観測地点が広域的に分布しており、バリオグラムを適用すると微気象を適正に捉えることができない可能性がある。

以上を踏まえ、空間補間法は、相関関係が見られない場合の適用する前記の式(1a)を用いて、気象予報値のメッシュに合わせた気象観測値の補正を行うこととした。

## (3) 気象予報値(MSMデータ)の補正

北海道全域を対象として補正した気象観測値とMSMによる気象予報値を比較し、気象要素毎の変動特性や現況に対する予測誤差を整理した上で、気候モデルのバイアス補正で適用事例のある「順位誤差率一定手法<sup>6)</sup>」を

参考に、気象観測値と気象予報値をデータの大きい順に並べ替えて順位誤差比率を推定し、誤差の変動特性を踏まえた補正係数を設定し、気象予報値に乘じることとした。気象観測値と気象予報値の比較を図-5に示し、データの大きい順に並べ替えた状況を図-6に示す。

気象要素の内、風速及び気温は順位毎に誤差比率が大きく変化し、その他の気象要素は誤差比率が概ね一定であることを踏まえ、月別の誤差比率を算出し、気象要素毎に以下の方針に基づいて補正係数を設定した。表-3に気象予報値に対する月別補正係数を示す。

### a) 風速

各月の誤差比率を補正係数として与える。

### b) 気温

各月の誤差比率は変動しているものの、現況値と予報値が概ね同値であることを考慮し、補正係数を一律 $\alpha=1.0$ を与える(予報値の補正を行わない)。

### c) 相対湿度・雲量・現地気圧

各月の誤差比率がほぼ一定であることを考慮し、各月の誤差比率の平均値を一律与える。

### d) 海面気圧

各月の誤差比率はほぼ一定であり、現況値と予報値が概ね同値であることを考慮し、補正係数を一律 $\alpha=1.0$ を与える(予報値の補正を行わない)。



表-3 気象予報値に対する月別補正係数

月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
海面更正気圧	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
気圧	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006
風(東西成分)	1.430	1.199	1.073	1.414	1.750	2.448	3.125	2.466
風(南北成分)	1.430	1.199	1.073	1.414	1.750	2.448	3.125	2.466
気温	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
湿度	0.936	0.936	0.936	0.936	0.936	0.936	0.936	0.936
低層雲量	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480
中層雲量	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480
高層雲量	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480
全雲量	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480	1.480
積算降水量	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

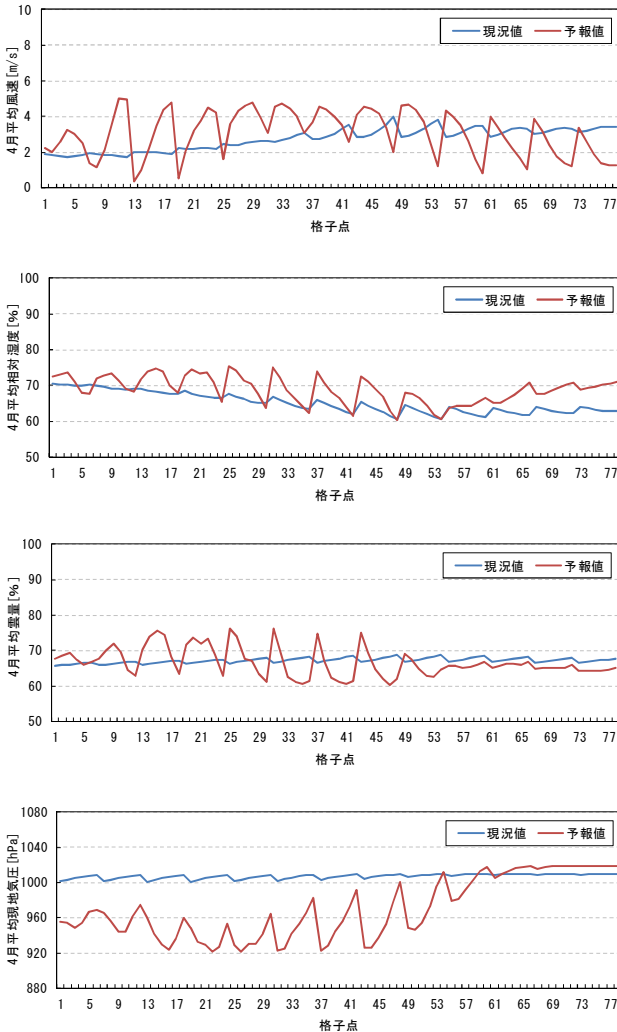


図-7 該当格子点における気象要素の比較(4月、風速・相対湿度・雲量・現地気圧)

#### (4) 実測データとの比較による検証

設定した補正係数を基に、MSMデータによる気象予報値を補正し、豊平峡・定山溪ダム流域を含むMSM格子点領域78点における気象要素毎の補正処理後の気象予報値と気象観測値に基づく現況値との比較を図-7に示す。比較検証結果から、格子点間で予報値が大きく変化しており、全体的に現況値に対する再現精度にばらつきが見られた。

## 5. まとめ

本検討による結果を以下にまとめる。

衛星データの活用検討に関しては、

- 1) 各衛星データの特徴を比較し、「ALOS-2(だいち2号)」を選定した。
- 2) 積雪分布の推定手法として、積雪調査から得られる標高に対する積雪深の変化率等を考慮した手法(リモートセンシングによる積雪面標高と基盤地図情報の地表面標高の差分から積雪深を算出し、観測値及び積雪深の変化率に基づく補正を行う)を採用することとした。数値予報モデルの活用検討に関しては、
  - 1) 各数値予報モデルの特徴を比較し、現行の融雪出水予測に用いている数値予報モデルよりも高精度な「メソ数値予報モデルGPV(MSM)」を選定した。
  - 2) 1)で選定した数値予報モデルデータの補正手法として「順位誤差率一定手法」(予報値と現況値をデータの大きい順に並べ替えて順位誤差比率を推定し、誤差の変動特性を踏まえた補正係数を設定し、予報値に乘じる)を採用することとした。
  - 3) 2)の補正手法を用いて、気象観測値と気象予報値の比較検証を行った結果、全体的に現況値に対する再現精度にばらつきが見られた。
  - 4) 3)の要因として、2)の補正手法は北海道全域を対象としたものであるが、広域的に点在する観測地点のデータを用いた空間補間では、ダム流域の微地形における現況気象特性が十分網羅されていないと考えられる。今後、ダム流域内の気象特性に応じてメッシュ毎に補正值を変えるなど微気象状況を的確に反映し、再現精度を向上させていく必要がある。

**謝辞:** 本検討では国土交通省北海道開発局管内のダム管理支所からデータを提供して頂いた。ここに記して謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省国土地理院：電子国土基本図（電子地形図にダムサイト、流域界、積雪深テレメータ、積雪調査地点、数値予報モデル格子点を追記して掲載）  
(<http://www.gsi.go.jp/kibanjoho/kibanjoho40025.html>)
- 2) 内閣府他：衛星データ利用促進プラットフォーム  
([https://satpf.jp/spf\\_at1/](https://satpf.jp/spf_at1/))
- 3) 真島耕平ら：衛星画像による積雪分布の解析、長岡技術科学大学、2007年
- 4) 小川幹治：衛星画像と雪モデルを利用した積雪量の経年変化について、関東地方整備局平成24年度スキルアップセミナー関東、2012年
- 5) 工藤啓介ら：石狩川流域における水文メッシュ値の推定、第59回年次学術講演会講演概要集、2004年
- 6) 国土交通省：第8回水資源分野における気候変動への適応策のあり方検討会 参考資料3、2014年8月