

阿賀野川流域における積雪分布の長期変動*

日本大学工学部土木工学科 佐藤 豪
日本大学工学部土木工学科 朝岡 良浩

1. はじめに

IPCC 第5次評価報告書によると、北半球高緯度において積雪面積の減少が報告されている。北半球中緯度に位置する日本の阿賀野川流域は温帯気候に属し、世界でも有数の豪雪地帯である。積雪は豊富な水資源として生活用水、かんがい用水、水力発電などに利用されている。

温帯の豪雪域における積雪量の長期変動を評価した研究事例は少なく、気候変動の影響検出および積雪を有効活用するうえで重要である。本研究では積雪水量推定モデルを用いて阿賀野川流域の積雪分布を推定し、長期変動について評価することを目的とする。

2. 河川流域の概要

研究対象地域は一級河川阿賀野川流域である。阿賀野川は栃木・福島県境の荒海山（標高1,580m）に源を発し、山間部を北流し、会津盆地を貫流した後、猪苗代湖から流下する日橋川等の支川や阿賀野川水系最大の支川である只見川を合わせて、新潟県に入る。以後五泉市馬下より新潟平野に出て、新潟市松浜において日本海に注ぐ一級河川である。猪苗代湖からは安積疏水によって郡山盆地へ導水されている。流域の概要を表1に示す。流域は、新潟県、福島県、群馬県にまたがり、新潟市や会津若松市など9市13町6村からなる。流域の土地利用は山地等が約87%，水田や畠地等の農地が約10%，住宅等の市街地が約3%となっている。

3. データセット

本研究で解析に使用した標高データ、流域界データは国土数値情報を使用した。阿賀野川流域の日平均気温分布、日水蒸気圧分布、日降水量分布は地域気象観測 AMeDAS(Automated Meteorological Data Acquisition System)の気温デ

表1 阿賀野川流域の概要¹⁾

項目	諸元
流域面積	7,710km ²
水路延長	210km
流域内人口	約59万人
支川数	248
流域関係都県	新潟県、福島県、群馬県

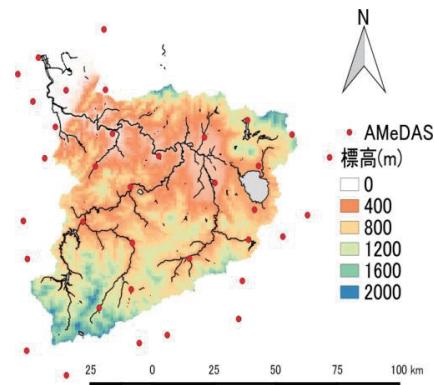


図1 AMeDAS 観測点

*Long term change in snow water equivalence distribution in the Agano River basin by Takeshi Sato and Yoshihiro Asaoka

ータ，降水量データ，水蒸気圧データを用いて作成した。使用した AMeDAS 観測点(図 1)は流域内 19 地点を含む合計 37 地点である。

4. 積雪水量分布の推定

4.1 積雪水量分布

研究対象地域は阿賀野川流域(流域面積 7,710km²)である。積雪水量は流域内の各グリッドに式(1)を適用して推定した。

$$\frac{d(SWE)}{dt} = SF - Melt \quad (1)$$

ここで，SWE は積雪水量(mm)，SF は日降雪量(mm/day)，Melt は日融雪量(mm/day)，dt は計算時間間隔(1 日)である。グリッドの空間解像度は dx=1km とした。計算期間は 1985 年から 2015 年の 30 年間とし，各年の 10 月 1 日から翌年 7 月 31 日まで計算した。

4.2 日平均気温分布

日平均気温分布は，流域内の各グリッドに AMeDAS の気温の日単位観測データと気温減率及び，式(2)に示す重み付距離平均法を用いて空間補完した。気温減率は標準大気を仮定して 0.6°C/100m とした。

4.3 日降雪量分布

流域内の各グリッドに AMeDAS の降水量の日単位のデータと重み付距離平均法，式(2)を用いて降水量を求めた。

$$Pr = (1 + Csf(z - elv_{obs}))Pr_{obs} \quad (2)$$

ここで，Pr はグリッドの降水量(mm/day)，Pr_{obs} は AMeDAS 観測点の降水量(mm/day)，Csf は標高の変化に対する降水量の変化を示す補正係数で，Csf=0.001(m⁻¹)である²⁾。z はグリッドの標高(m)，elv_{obs} は AMeDAS 観測点の標高(m)である。式(3)に示す降水形態判別式³⁾を用いて各グリッドの降水量を降雨と降雪に分け，日降雪量(mm/day)を推定した。

$$s = \begin{cases} 1 - 0.5\exp(-2.2(1.1 - TW)^{1.3}), & TW < 1.1^\circ\text{C} \\ 0.5\exp(-2.2(TW - 1.1)^{1.3}), & TW \geq 1.1^\circ\text{C} \end{cases} \quad (3)$$

ここで，s は降水量に対する降雪量の割合，TW は湿球温度である。

4.4 融雪量分布

融雪量は流域内の各グリッドに融雪量は式(4)に示す Degree-day 法⁴⁾を適用して推定した。

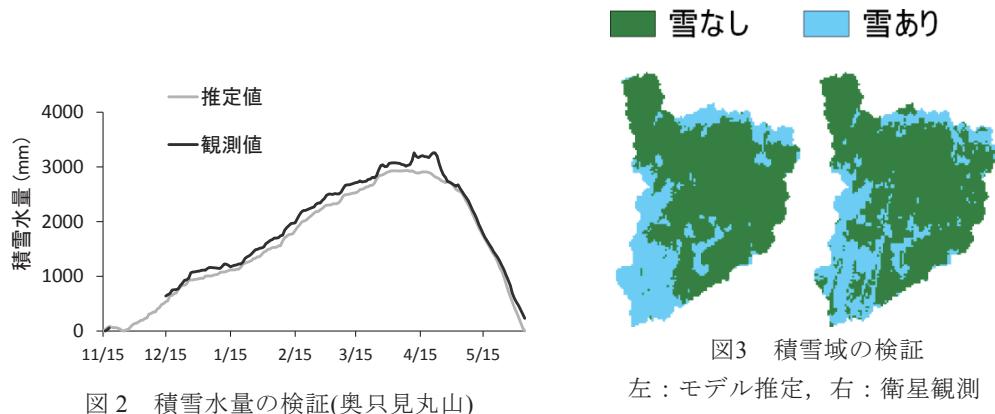
$$Melt = k \times Ta \quad (4)$$

ここで，Melt は融雪量(mm/day)，k は融雪係数，Ta は日平均気温(°C/day)である。

5. 結果

5.1 計算結果の検証

奥只見丸山の積雪重量計による積雪水量の実測値⁵⁾とモデルによる推定値を比較した(図2)。積雪の季節による変動をモデルによる推定値は表せており、最大値の相対誤差は10%、積雪期間の平均誤差(MAE)は114mm/dayであった。積雪量の空間分布の検証として衛星画像から抽出した積雪域⁶⁾とモデルから推定した積雪域を比較した。図3に2014年5月5日の結果を示す。積雪の有無の一一致率は80%以上と概ね良好な精度であった。以上より、今回使用した積雪水量推定モデルは本研究において、一定の精度があるといえる。



5.2 積雪水量の長期変動

年最大流域積雪水量の長期変動を図4に示す。また、流域内 AMeDAS(12地点)の冬季(12月、1月、2月)の降水量と平均気温ならびに流域積雪水量を表3に示す。対象期間の後半(2001~2015

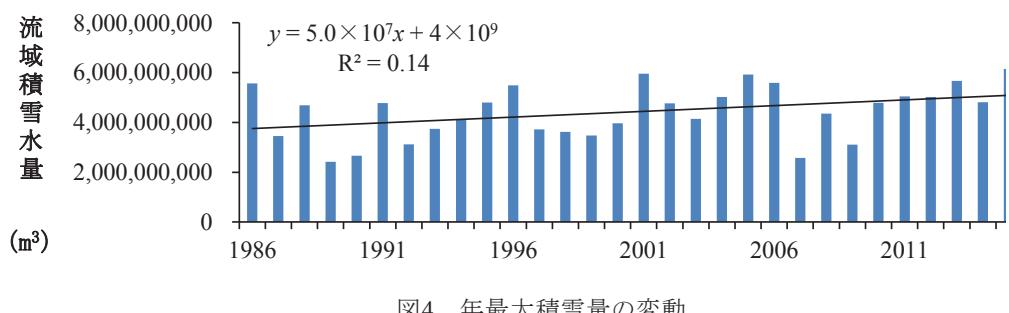


表3 冬季(12~2月)の観測気温・降水量と推定流域積雪水量の平均値

期間	気温 (°C)	標準偏差 (°C)	降水量 (mm)	標準偏差 (mm)	流域積雪水量 (m³)	標準偏差 (m³)
1985~2015	-0.84	0.80	1930.1	295.5	4.41×10^9	1.06×10^9
1985~2000	-0.71	0.79	1569.0	284.1	3.97×10^9	0.94×10^9
2001~2015	-0.97	0.79	2026.4	274.5	4.85×10^9	1.01×10^9

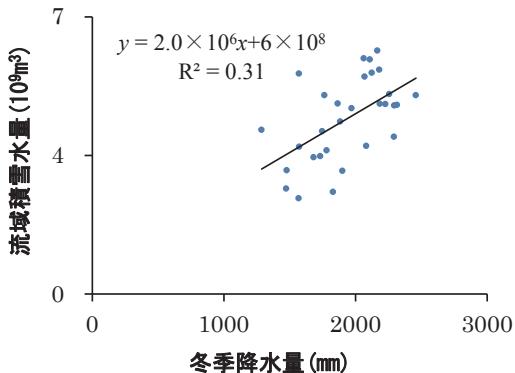


図 5 流域積雪水量と冬季降水量

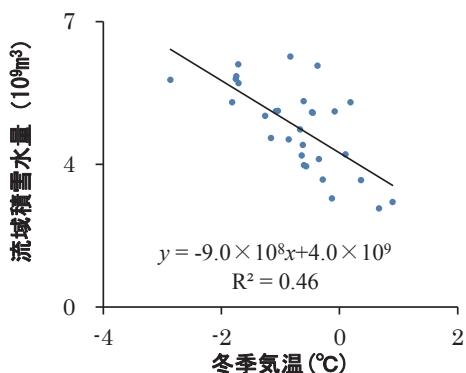


図 6 流域積雪水量と冬季気温

表 4 流域積雪水量・融雪量の統計値

	最大流域 積雪水量(m^3)	堆積基準 日数(*)	融雪基準 日数(*)	3月流域 融雪量(m^3)	4月流域 融雪量(m^3)	5月流域 融雪量(m^3)
上位 6 年	5.81×10^9	105	201	1.07×10^9	2.29×10^9	1.94×10^9
中位 18 年	4.46×10^9	112	193	1.18×10^9	2.56×10^9	1.06×10^9
下位 6 年	2.89×10^9	105	181	1.12×10^9	2.07×10^9	4.53×10^8

(*)10月1日からの日数を示す。

年)は前半(1985~2000年)と比較して気温は僅かに低く、降水量は僅かに増加している。流域の積雪量は長期的に僅かな増加傾向を示し、年較差は大きい。図5に流域積雪水量と冬季降水量の関係を示す、冬季の降水量が多いと流域積雪水量が増加する。図6に流域積雪水量と冬季気温の関係を示す。気温が低い年の積雪は多く、気温が高い年の積雪は減少する。降水量と気温に相関関係は見られなかった。

5.3 多雪年・小雪年の統計値

年最大流域積雪水量を指標として、対象期間30年間を上位6年(2015年、2001年、2005年、2013年、2006年、1986年)、中位18年、下位6年(1989年、2007年、1990年、2009年、1992年、1987年)に分類した統計値を表4に示す。上位6年の年最大流域積雪水量は中位18年の130%、下位6年の年最大流域積雪水量は中位18年の65%であった。本研究では堆積基準日数は各年10月1日から年最大流域積雪水量の50%に到達するまでの日数とした。同様に融雪基準日数は各年10月1日から年積算流域融雪量の50%に到達するまでの日数とした。図7に堆積基準日と融雪基準日の設定方法を示す。表4から堆積基準日数は上位6年と下位6年でほぼ等しく、中位18年より短縮(早期化)している。融雪基準日数においては、年間最大流域積雪水量の多い年は、融雪期間が長期化することから5月の流域融雪量が増加する。図8に上位6年の流域積雪水量を、図9に下位6年の流域積雪水量を示す。上位6年では3月頃に最大値に達するが、

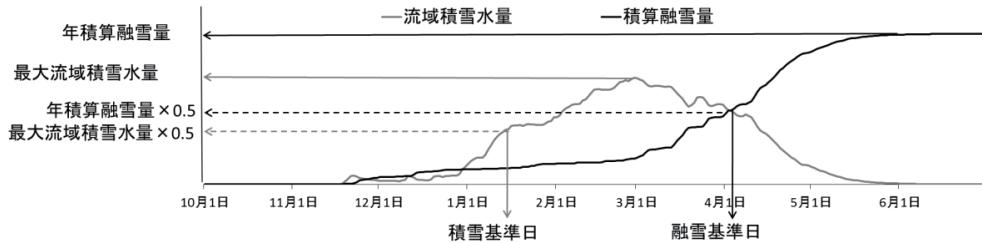


図 7 堆積基準日と融雪基準日

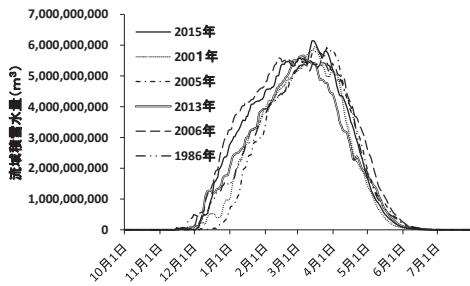


図 8 上位 6 年流域積雪水量

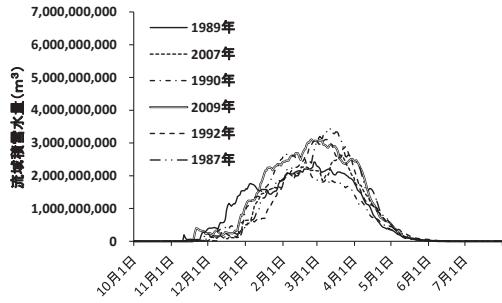


図 9 下位 6 年流域積雪水量

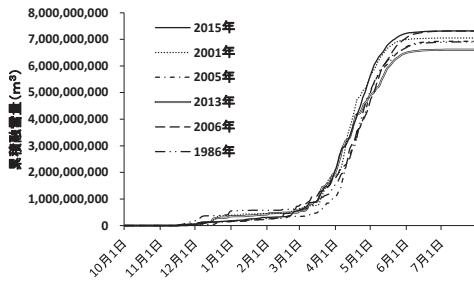


図 10 上位 6 年積算融雪量

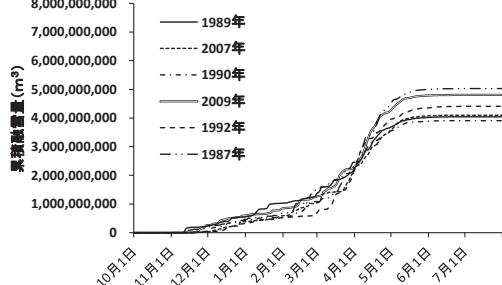


図 11 下位 6 年積算融雪量



図 12 積雪水量分布図

左 : 2015/4/5 右 : 1987/4/5

下位 6 年では 1 月頃から増減を繰り返している。上位 6 年では下位 6 年の 2 倍近く積雪がある。図 10 に上位 6 年の積算融雪水量、図 11 に下位 6 年の積算融雪水量を示す。下位 6 年は上位 6 年よりも早期に融雪が始まり、融雪基準日数は 20 日ほど早い。図 12 に年最大流域積雪水量の上位 6 年の中で最大である 2015 年の 4 月 5 日と、年最大流域積雪水量が下位 6 年の中で最大(30 年の内 25 番目)である 1987 年の 4 月 5 日の流域積雪水量分布図を示す。日本海に近い山岳域において積雪水量の差が明確に異なる。一方で新潟平野や会津盆地などの地域では明確な違いは見られない。

5. おわりに

本研究では、積雪水量推定モデルを用いて阿賀野川流域を対象として 1985 年から 2015 年までの積雪水量と融雪量を推定した。これにより、年積雪水量は長期的に僅かな増加傾向を示し、さらに年較差が大きいことを明らかにした。融雪基準日数は多雪年と小雪年で約 20 日の変動があった。今後は多雪年および小雪年といった極端気候等における水資源運用について検討する必要がある。

謝辞

本研究で利用した積雪重量計の観測データは国立研究開発法人 防災科学技術研究所から提供して頂きました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局,阿賀野川水系の流域及び河川の概要（案）,平成 19 年 7 月 11 日.
- 2) Yoshihiro Asaoka and Yuji Kominami (2012) : Spatial snowfall distribution in mountainous areas estimated with a snow model and satellite remote sensing, Hydrological Research Letters, Vol.6, pp. 1-6.
- 3) Yamazaki, T. (2001): A one-dimensional land surface model adaptable to intensely cold regions and its applications in Eastern Siberia. J. Meteor. Soc. Japan, 79, 1107-1118.
- 4) Yoshihiro ASAOKA, Yuji KOMINAMI (2013): Incorporation of satellite-derived snow-cover area in spatial snowmelt modeling for a large area: determination of a gridded degree-day factor, Annals of Glaciology, Vol.54(62), pp.205-213.
- 5) Yamaguchi Satoru; Abe Osamu; Nakai Sento; Sato Atsushi(2011): Recent fluctuations of meteorological and snow conditions in Japanese mountains, Annals of Glaciology. Vol. 52, No. 58, pp. 209-215.
- 6) 斎藤 翼・朝岡良浩：人工衛星と確率密度関数を用いた日本全域の積雪期間の評価,東北地域災害研究, 投稿中.