

新潟大学災害・復興科学研究所  
共同研究報告書

表題 積雪流域における地球温暖化に伴う水資源のレジリエンス評価

研究代表者氏名 吉田 武郎<sup>1)</sup>

研究分担者氏名 河島 克久<sup>2)</sup>, 松元 高峰<sup>2)</sup>, 竹内 由香里<sup>3)</sup>

1) 所属 農業・食品産業技術総合研究機構 2) 所属 新潟大学 災害・復興科学研究所

3) 所属 森林総合研究所 十日町試験地

研究要旨

信濃川流域は、冬季の平均気温が高い豪雪地帯を含み、積雪は貴重な水資源として活用されている。地球温暖化時の水資源のレジリエンス（対応力）を評価するため、信濃川流域における冬季の山地降水量の推定精度および積雪・融雪・流出モデルの構造を検証する。まず、積雪深の地上観測データ（新潟大学災害・復興科学研究所）から換算した降水量から、冬季のレーダー解析雨量精度を検証する。次に、流域内3ヶ所の観測熱収支データによりモデルの基本構造を検証する。最後に、整理した降水量およびモデル構造を用い、衛星画像から得られた積雪境界域での融雪パラメータを推定する。その結果、冬季の解析雨量は実際の降水量より過小評価され、標高が高い地域でその傾向が強く表れることが示された。また、信濃川流域内での観測知見を反映したモデルにより、融雪パラメータの同定がより広域で安定して行える結果が得られた。

A. 研究目的

信濃川流域は、冬季の平均気温が高い豪雪地帯を含み、積雪量は貴重な水資源として活用されている。融雪流出特性の把握は現在のみならず、地球温暖化時の水資源のレジリエンス（対応力）を評価する観点からも重要であるが、暖地積雪流域におけるアルベドの変化、地熱融雪量の定量化には課題が残されている。また、検討の前提となる山岳地域の降水量推定にも不確実性が大きい。本研究では、代表者が構築した積雪・融雪・流出モデル（吉田ら、2012）を信濃川流域に適用し、流域内2ヶ所の熱収支観測データおよび積雪深データベースにより、山地降水量の推定精度およびモデル構造の検証を目的とする。

B. 研究方法

本研究で用いる分布型積雪・融雪・流出モデル（吉田ら、2012）は、約1km<sup>2</sup>のグリッドごとに積雪・融雪過程と河川流量を計算する。

(1) 山地降水量の推定

山間部には降水量の観測地点が少なく、観測雨量を単純に内挿した降水量は過小になる。また、冬季のレーダーによる推定雨量（以下、解析雨量）

も不確実性が大きい。そこで、山地で観測された積雪深の連続データにより解析雨量の補正を行う。まず、新潟県内のアメダス地点における降水量と降雪深から、降雪直後の雪密度を推定する。次に、積雪深の地上観測データ（新潟大学災害・復興科学研究所）の日ごとの差分（日ごとの降雪深）を推定した降雪密度で除し、降水量に換算する。算定した降水量と解析雨量を比較し、各地点における冬季解析雨量の精度を検証する。

(2) 地熱融雪量の推定

森林総合研究所 十日町試験地で観測された地熱融雪量を現行モデルと比較する。

(3) アルベド推定モデルの変更

新潟大学 大白川試験地および六日町試験地、森林総合研究所 十日町試験地で観測された熱収支・アルベド推定モデル（伊豫部ら、2013）を現行モデルの推定方法（山崎ら、1994）と比較・検証を行う。

(4) 融雪パラメータの空間分布推定

上記の検証を行った上で、顕熱輸送量を支配するパラメータ  $k_{s1}$ （風速の日内変化およびバルク係数を反映したパラメータ）を、各グリッドの消雪

日が一致するように同定する。グリッドの消雪日は、地上観測データ（新潟大学災害・復興科学研究所のデータベースおよびアメダス観測値）および衛星画像（MODIS の積雪域情報）から得る。信濃川流域のうち、特に、積雪量の多い魚野川流域の 2014 年の降雪状況を材料に解析を行い、パラメータの空間分布を推定する。

### C. 研究結果

#### (1) 山地降水量の推定

アメダス地点での降水量と積雪深の変化から、降雪直後の積雪密度は  $0.1\text{g/cm}^3$  と推察された。この値は文献値 ( $0.06\sim 0.10\text{g/cm}^3$ ) (斎藤, 1974) とも整合する。次に、新潟大学降積雪データベースから提供された 14 地点の積雪深から積雪水量に換算し、解析雨量と比較した (図 1)。積雪深は局所的な風や降雪の影響を受ける、明確な地域性

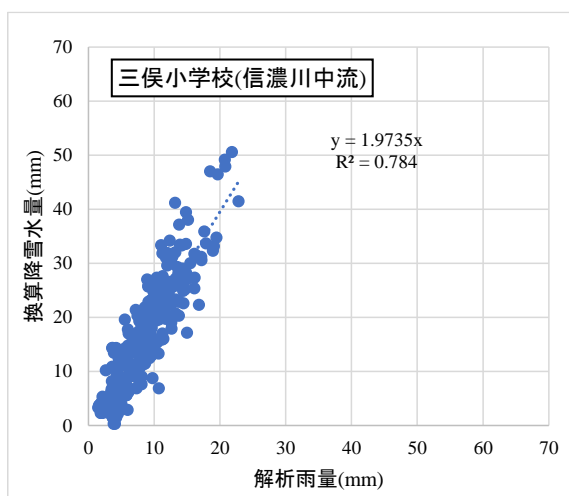
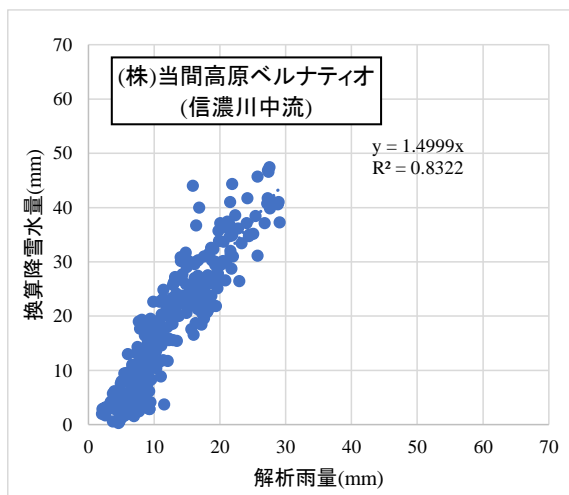


図 1 解析雨量と降雪深から推定した冬季降水量の関係

は見いだせなかったものの、魚野川流域における冬季の解析雨量は実際の降水量より過小評価されていること、また、標高が高い地域 (図 1, 例えば三俣小学校, 標高 618m) の方が、低い地域 (当間高原ベルナティオ, 同 456m) よりその傾向が強いことが示された。

新潟大学降積雪データベースの他、新潟県道路情報システム、長野県道路管理課のデータを統合し、河川の水収支と整合するように、標高に応じた冬季降水量の補正式を作成した。

#### (2) 地熱融雪量の推定

森林総合研究所十日町試験地内のライシメータにおける積雪重量、融雪量の連続的な観測から、気温が低く、積雪表面からの融雪が発生しない時期でも地熱による融雪が発生していることが示された (竹内ら, 2016)。地熱融雪量は 12 月に比較的高く、1, 2 月に最低を迎える。1, 2 月の最低値でも  $0.08\text{mm/h}$  (日換算すると約  $2\text{mm}$ ) である。この観測値を暖地積雪地帯における地熱融雪量 (現行は  $1\text{mm/d}$ ) としてモデルに反映した。

また、十日町試験地における降雪頻度 (y) と気温の関係は、気温が  $0.4^\circ\text{C}$  以下では 100%、 $2.6^\circ\text{C}$  以上では 0% (100%雨) であり、 $0.5^\circ\text{C}\sim 2.5^\circ\text{C}$  では気温(x)の 1 次式 ( $y = -0.49x + 1.23$ ) で近似できることも示された (図 2)。そこで、現行モデルの雨雪判別式を上式に変更した。

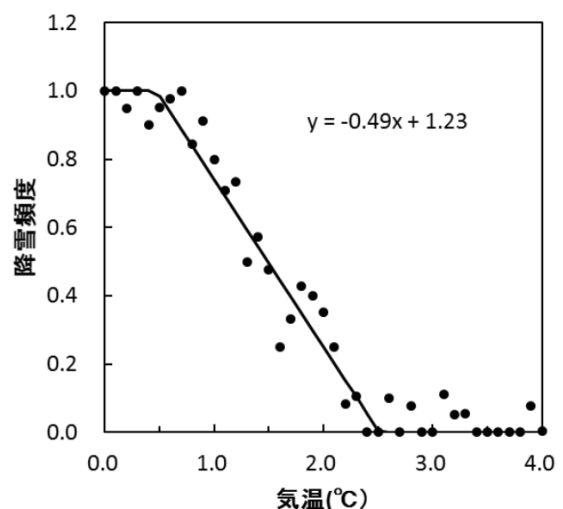


図 2 気温と降雪頻度の関係 (竹内ら, 2016)

#### (3) アルベド推定モデルの変更

次に、日平均気温、日降水量を指標とする積雪面の反射率（アルベド）の時間変化モデルを検討した。現行モデルでは、札幌において観測されたアルベドの時間変化を表現したモデルを適用していたが、新潟大学 大白川試験地での観測により、山崎ら（1994）のモデルを温暖な新潟県に適用すると、アルベドの値が過小評価されることが示された（伊豫部ら，2013）。そこで、アルベドの低下速度および新雪のアルベドを伊豫部ら（2013）の通り変更した。

#### (4) 融雪パラメータの空間分布推定

上記のモデルの変更を行い、融雪パラメータ  $k_{sl}$  の同定を行った。ここでは2種類のアルベドモデルの比較のみを示す。衛星画像から消雪日が得られた4046メッシュのうち、 $k_{sl}$ が同定できたメッシュ数は、3631（山崎ら，1994を採用）から、3831（伊豫部ら，2013を採用）に増加した。

#### D. 考察

得られたパラメータ  $k_{sl}$  の頻度分布（図3）からは、アルベドモデルの修正により、 $k_{sl}$ はやや大きい値をとることがわかる。これは、モデルの修正によりアルベドの低下が遅くなり、その分短波放射による融雪量が減少した効果と考えられる。パラメータの空間分布（図4）からは両者に大きな違いは見えてとれないが、アルベドモデルの修正により、魚野川流域および信濃川中流域の低標高部に存在していた同定不能なメッシュが減少していることがわかる。これは、温暖な新潟県の特徴を考慮したアルベドモデルの採用による効果といえる。

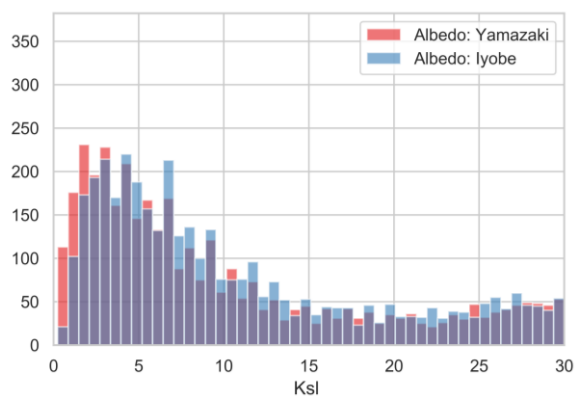


図3 2種類のアルベドモデルによって推定されたパラメータ  $k_{sl}$  の頻度分布

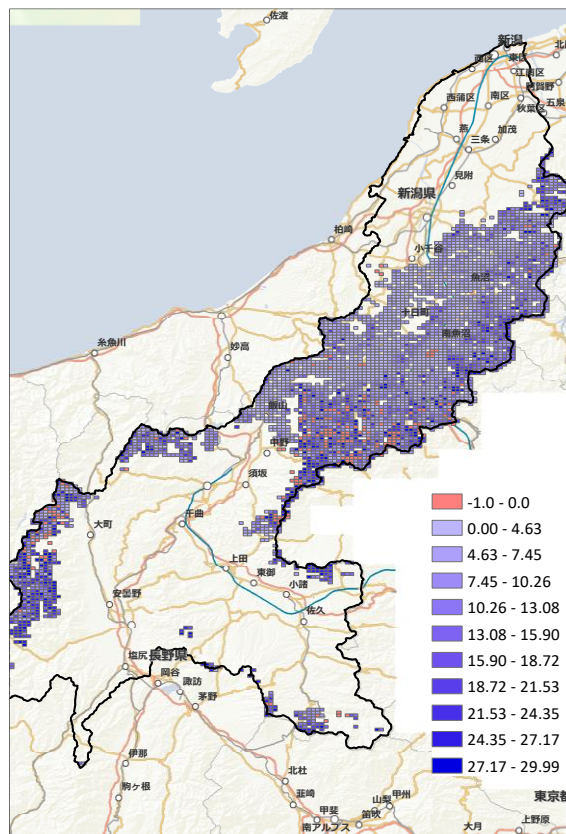


図4 パラメータ  $k_{sl}$  の空間分布（アルベドモデル：伊豫部ら 2013 を採用時の結果）

#### E. 結論

本研究では、信濃川流域内の熱収支、積雪深の多地点での観測データの活用により、分布型積雪・融雪モデルの不確実性が低減することを示した。本モデルは水資源評価モデルの基礎的なモジュールとして用いられており、信濃川流域の地球温暖化時の影響評価や少雪年における水資源予測精度の向上に寄与する。

#### F. 研究発表

1. 論文発表（掲載誌名・巻号・頁・発行年を記入し、なし）

2. 学会発表（学会名・発表年月・開催地なども記入）

松尾洋毅，宮島真理子，吉田武郎，瀧川紀子，森田孝治：長期水収支からみた山地降水量の推定精度の比較，農業農村工学会大会講演会，2019年9月，東京。

#### G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得：なし

2. 実用新案登録：なし

3. その他：なし