

積雪寒冷地の気候特性を考慮した降雪条件推定式の構築

株式会社ドーコン 河川環境部 ○正会員 工藤 啓介
室蘭工業大学 大学院工学研究科 正会員 中津川 誠

1. はじめに

積雪寒冷地において流域水管理を効果的に行うためには、積雪水量、融雪量等の水文諸量を精度良く推定することが重要である。近年の気候変動に伴い、積雪寒冷地における降雪・積雪・融雪特性が変化しており、水文諸量の推定を行う際に適正に評価する必要がある。

本研究では、積雪寒冷地の降雪特性に関する基礎研究として、北海道内の気象官署における観測データを用いて、気候特性を考慮した降雨・降雪判別式及び降雪密度推定式を構築し、降雪条件の地域特性を把握した。

2. 解析対象地点

北海道は冷帯(亜寒帯)に属しており、日本では北海道気候区に区分される。北海道気候区は図-1 のとおり、日本海側、太平洋側東部・西部、オホーツク海側の4気候区¹⁾に区分され、地域によって降雪量等の気候に違いがみられる。

本研究では、図-1 に示す北海道の4気候区内に位置する気象官署11箇所を解析対象地点とし、2004年～2013年の計10ヶ年を解析対象期間とした。

3. 解析方法及び解析結果

(1) 気象観測データの補正

解析で使用する気象観測データ(風速、気温、相対湿度、日照時間、全天日射量、降水量、積雪深、降雪深)は、気象庁が公開している解析対象地点の日データを用いた。

降水量については、中尾の研究成果²⁾を参考に、WMO(世界気象機関)の固定降水量測定最終報告に基づいた風速をパラメータとする降雪時の捕捉率の補正式を用いて補正した。

風速については、解析対象地点で測定高が異なることから、対数則を適用して風速計設置高における観測データを一律地上高2mの値に補正した。

(2) 降雨・降雪判別式の推定

気象官署で観測されている降水量は降雨・降雪の両方を含む値であり、雨雪が混在した状態で降ることも多いことから、積雪水量、融雪量を精度良く推定するためには、降水量が降雨か降雪かを判別する必要がある。

本研究では、降雨・降雪判別温度に地域特性があるものと考え、近藤³⁾が提案する降雨・降雪判別式を参考に、降雪日の気温、相対湿度、降水量、降雪深をもとに解析対象地点における降雨・降雪の判別を行い、気温と相対湿度の相関関係から式(1)に示す降雨・降雪判別式を推定した。

$$T_c = a + b \times (rh/100) \quad T > T_c: \text{雨} \quad T \leq T_c: \text{雪} \quad (1)$$

ここで、 T_c は降雨・降雪判別温度(°C)、 T は気温(°C)、 rh は相対湿度(%), a 及び b は解析対象地点毎の係数である。

図-2 に解析対象地点において推定した降雨・降雪判別式をもとに算出した相対湿度と降雨・降雪判別温度の関係図を

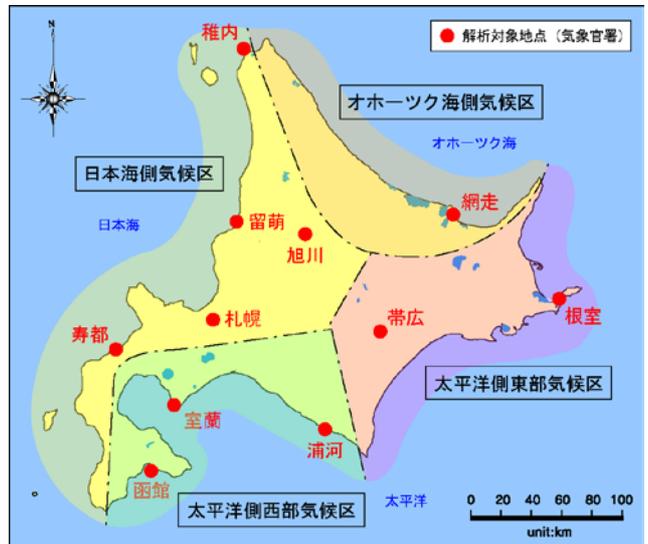


図-1 北海道の気候区分(既往文献¹⁾を参考に作成)

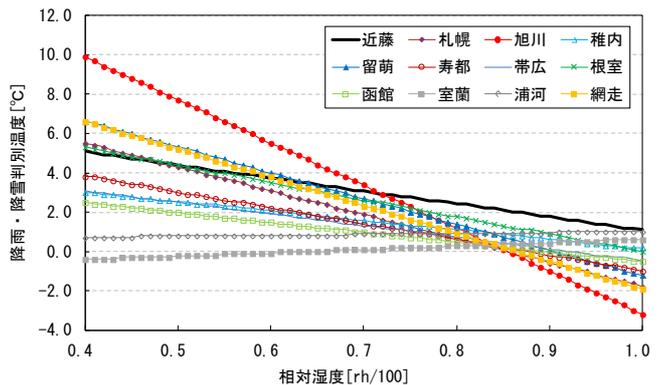


図-2 相対湿度と降雨・降雪判別温度の関係

示す。推定の結果、相対湿度60%以下では旭川・留萌・網走で、近藤の判別式による値よりも判別温度が高くなり、相対湿度70%以上ではいずれの解析対象地点も、近藤の判別式による値よりも判別温度が低くなることが確認された。

(3) 降雪密度の推定

工藤らの研究⁴⁾では、多雪年・少雪年において、北海道内の気候区分の違いや風速・気温の季節変化により降雪密度が変化することが把握されている。

本研究では、平年も含む長期的な降雪密度の特性をより詳細に把握するため、1)降雪密度を固定値とする場合、2)降雪密度を変動値(気象条件によって変化)とする場合の2ケースについて、以下の手法により検討を行った。

1) 降雪密度を一定とする場合

- a) 解析対象地点の降雪日の降水量、降雪深から降雪密度を逆算した。逆算した降雪密度の下限値を $\rho=50\text{kg/m}^3$ とし、Smimov-Gravus 検定による異常値の棄却を行った。

キーワード : 積雪寒冷地, 降雨・降雪判別, 降雪密度, 水文諸量, 長期熱・水収支モデル

連絡先 : 〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4-1 TEL 011-801-1532 FAX 011-801-1533

- b) 算出した逆算降雪密度をもとに、解析対象地点における降雪密度の10ヶ年平均値を算出した。
- 2) 降雪密度を気象条件によって変化させる場合
 - a) 降雪密度は、風速・気温・相対湿度の気象条件や降水量・降雪深の規模によって変化するものと仮定し、解析対象地点の降雪日(前記1)の棄却後)の風速、気温、相対湿度、降水量、降雪深をもとに、式(2)に示す降雪密度の重回帰式を構築した。

$$S_d = a_1 \times U + a_2 \times T + a_3 \times rh + a_4 \times R + a_5 \times S_f + b \quad (2)$$

ここで、 S_d は降雪密度(kg/m³)、 U は風速(m/s)、 T は気温(°C)、 rh は相対湿度(%), R は降水量(mm), S_f は降雪深(cm), $a_1 \sim a_5$ 及び b は回帰係数である。

- b) 構築した降雪密度の重回帰式をもとに、降雪密度の下限値を $\rho=50\text{kg/m}^3$ とし、日単位で降雪密度を推定した。

図-3 に気象観測データにより逆算した旭川の降雪密度の経年変化、図-4 に重回帰式による旭川の降雪密度の再現結果を示す。いずれの解析対象地点も、本格的な降雪期である12~2月に降雪密度が小さく、降雪初期及び融雪期に降雪密度が大きい値を示すことが確認された。

また、いずれの解析対象地点も重回帰式による降雪密度の再現性は良好であり、降雪密度が小さい値を示す12~2月で相関性が高くなることが確認された。

(4) 積雪深の再現計算による降雪密度の検証

(2) 及び(3) の検討結果をもとに、積雪寒冷地の流域水循環における水文諸量の推定精度が確認されている「長期熱・水収支モデル」を用いて、降雨・降雪判別式と降雪密度の組合せにより感度分析的に解析対象地点の積雪深の再現計算を行い、解析対象期間における観測積雪深の合計値に対する計算積雪深の相対誤差が最小となる降雪条件を検証した。

図-5 に稚内における積雪深の再現計算結果、表-1 に解析対象地点における降雪条件の検証結果を示す。

検証の結果、積雪深の相対誤差が最小となる降雪条件は、降雪量の多い日本海側気候区で「近藤の判別式—降雪密度変動値」、降雪量の少ない太平洋側東部・西部気候区で「近藤の判別式—降雪密度固定値」となることが確認できたが、解析対象地点11箇所中7箇所で相対誤差が±5%以上となった。

このため、相対誤差が大きい値を示す解析対象地点について、「長期熱・水収支モデル」による計算積雪深の相対誤差が±5%以内となるよう降雪密度の補正を行った。

解析の結果、相対誤差が特に高い値を示していた帯広・根室で降雪密度の補正値が大きくなり、補正前の降雪密度固定値が帯広で過小評価、根室で過大評価されていたことが確認された。気象官署では、降水量を0.5mm単位、降雪深を積雪計の測定値をもとに1cm単位で算出しているが、少なからず測定誤差を有しており、北海道内でも降雪量が少ない太平洋側東部気候区に属している帯広・根室では測定誤差が大きくなり、その影響により降雪密度の逆算値の精度に影響しているものと考えられる。

また、降雪密度変動値を採用する留萌・寿都については補正値が小さくなり、回帰係数を精査することにより重回帰式による降雪密度の推定が適応可能であると考えられる。

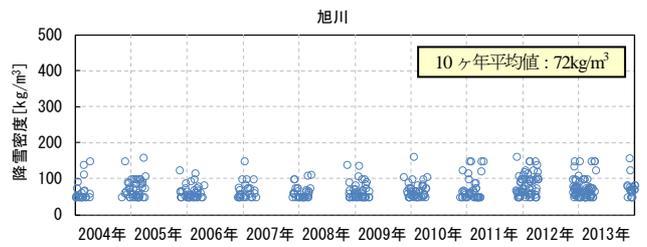


図-3 逆算降雪密度の経年変化(旭川)

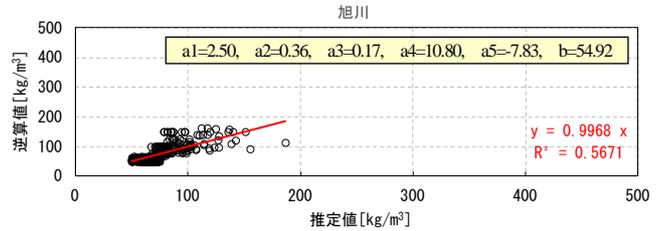


図-4 降雪密度の重回帰式による再現性(旭川)

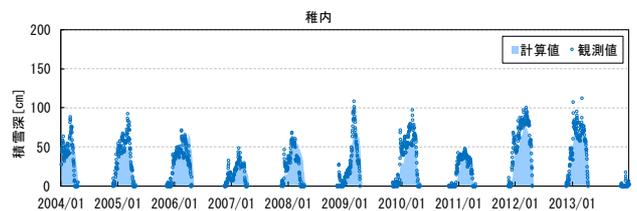


図-5 積雪深再現計算結果(稚内)

表-1 降雪条件の検証結果

気候区分	地点	補正前			補正後		
		降雪密度固定値 (kg/m ³)	最適降雪条件	誤差	降雪密度補正値 (kg/m ³)	降雪密度固定値 (kg/m ³)	誤差
日本海側	札幌	91	②	-1.8%			
	旭川	72	③	5.6%	-1	71	3.5%
	稚内	106	②	-0.7%			
	留萌	110	②	-9.9%	+3		-3.6%
	寿都	116	④	12.2%	-6		4.8%
太平洋東部	帯広	101	①	-31.7%	+23	124	-4.6%
	根室	144	③	26.7%	-12	132	5.0%
太平洋西部	函館	82	③	-0.8%			
	室蘭	116	③	6.1%	-1	115	4.1%
	浦河	114	③	-5.4%	+1	115	-3.1%
オホーツク海側	網走	95	①	-3.9%			

降雪条件①：判別式「近藤式」、降雪密度「固定値」
 降雪条件②：判別式「近藤式」、降雪密度「変動値」
 降雪条件③：判別式「推定式」、降雪密度「固定値」
 降雪条件④：判別式「推定式」、降雪密度「変動値」

4. おわりに

本研究で課題となった降雨・降雪判別式の地域特性及び降雪密度の逆算については、今後、北海道内の降雪・積雪データをさらに蓄積し、気象条件の地域性や測定誤差等との関連性を十分解明することで、推定精度が向上すると考える。

今後も継続的に研究を行い、北海道を含む積雪寒冷地で汎用的に適用できる降雪条件の一般化を図っていきたい。

参考文献

- 1) (財)日本気象協会北海道本部：北海道の気候, 1991.
- 2) 中尾隆志：アメダスデータを用いた新雪密度の推定法, 平成16年度土木学会北海道支部論文報告集第61号, 2-7, 2004.
- 3) 近藤純正編著：水環境の気象学, 朝倉書店, 1994.
- 4) 工藤啓介, 中津川誠：降雪密度の季節変動を考慮した積雪水量の推定, 水文・水資源学会 2009 年研究発表会要旨集, pp.244-245, 2009.