

# 気温・降水量・風速データから 降雪量を推定する手法の検討 —新雪密度に着眼した解析—

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム ○菅原 邦泰  
同上 大宮 哲  
同上 原田 裕介

降雪の現況を時間的および空間的に詳細な精度で把握することは、交通事故等の道路災害の防止の観点および除雪の出動判断等の道路管理の観点において重要である。本研究では、積雪深計が設置されていない気象観測地点について、気温・降水量(雨量)・風速を用いて降雪量を推定する手法を検討した。この手法では、降雪時の雨量計実測値である降水量から、時間降雪量を推定する。その際、新雪密度の推定式を構築することが重要となる。本発表では、道内10年分のアメダスデータから新雪密度の推定式を構築し、降雪量を算出した。また、その算出結果を実測値と比較した。

キーワード：降雪量の推定、除雪・防雪、災害情報

## 1. はじめに

積雪量や、その時間差分値の増加分である降雪量を計測するには、雨量計ではなく積雪深計を用いる必要がある。これは、冬季における降水量と降雪量はそのまま直接比較することができないためである。雪粒子は雨滴よりも風に流されやすく、雨量計における捕捉率は低下する<sup>1)</sup>。また、降水量から降雪量へ変換するには、雪密度を考慮した換算(雪と液水の密度比、すなわち雪水比<sup>2)</sup>)を施す必要がある。

現在、気象庁のアメダス(AMeDAS; Automated Meteorological Data Acquisition System)を始めとした気象観測データは、Webサイトなどを通してリアルタイムで閲覧することができるように整備されている。これらの観測データとは別に、気象庁解析積雪深<sup>3)</sup>や準リアルタイム積雪深<sup>4)</sup>などの積雪深のメッシュデータも運用されつつある。これらのメッシュデータの算出には、実測値を用いている。したがって、実測値のデータ数を増やす取り組みは、メッシュデータの精度を向上させる観点からも有意義である。

北海道内のアメダス観測地点の一部を図-1に示す。積雪深計が設置されたアメダス観測地点を有する市町村は97市町村であり、これは全179市町村の約54%である。一方で、積雪深計は設置されていないが、気温計・雨量計・風向風速計が設置されたアメダス観測地点を有する市町村を、前述の97市町村に加えると138市町村(約77%)となる。すなわち、積雪深計を用いずに降雪量を把握す

ることが可能となれば、より多くの市町村における代表的な降雪量の情報を得ることが可能になると期待できる。

そこで、本論では気温計・雨量計・風向風速計の観測データから降雪量を推定する簡易な手法を提案することを目的とする。前述のように、この推定手法において必

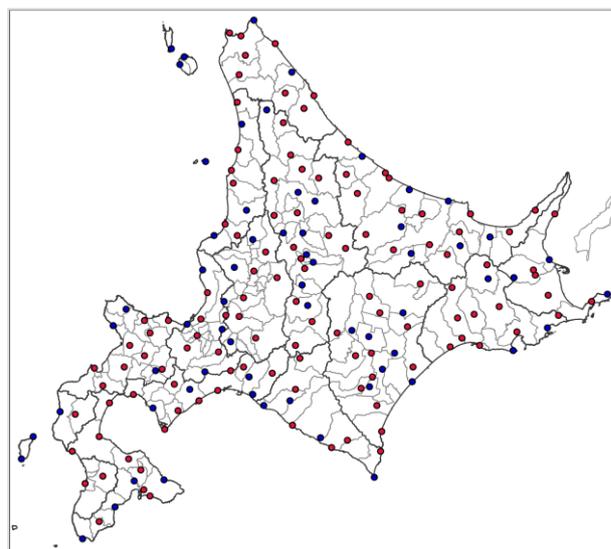


図-1 北海道内のアメダス観測地点。赤丸は積雪深計を有する地点を、青丸は積雪深計を有しない地点をそれぞれ示す。アメダスの位置情報は気象庁ホームページ<sup>5)</sup>を、市区町村境界線ならびに総合振興局・振興局境界線は国土数値情報<sup>6)</sup>を、それぞれを参照した(以下、本論における地形及び境界線データはすべて同様)。

要となる計算過程は、「①雨量計における捕捉損失の補正」と、「②雪水比（新雪密度）による換算」の二つである。このうち、①の捕捉損失の補正は大宮ほか<sup>7)</sup>によって風速の関数として示されている。よって、本論では②の新雪密度の推定式を示す。新雪密度の分布には地域的なバラツキがある<sup>8)</sup>一方で、気象条件によっても大きく変化する<sup>9,10)</sup>。本論では、北海道を大まかな気候区分に分類し、その気候区分ごとに雪粒子の状態変化に最も支配的であると考えられる、気温に着目した推定式を構築する。

## 2. データ

本論では、北海道内の気象庁アメダス観測地点のうち、気温計、雨量計、風向風速計、積雪深計を有する 105 地点のデータを解析した。解析の対象とした期間は、2009 年 11 月から 2019 年 3 月までの 11 月から 3 月までである。用いた気象要素は、気温、風速、降水量（以上 3 要素は時別値）および降雪量（積雪深時別値の時間差分における増加分）である。

## 3. 手法

本論における解析手法の概要を、図-2に示す。この手順で、新雪密度の推定式を算出し、降雪量の推定を行った。

### (1) 降雪イベントの抽出

解析の対象とする降雪イベントは、以下の三条件をすべて満たすものを抽出した。

- ① 気温時別値が0°C未満である。
- ② 実測降水量が0mm/hより大きい、もしくは実測降雪量が0cm/hより大きい。
- ③ ①、②の二条件が3時間以上6時間以下続く場合。

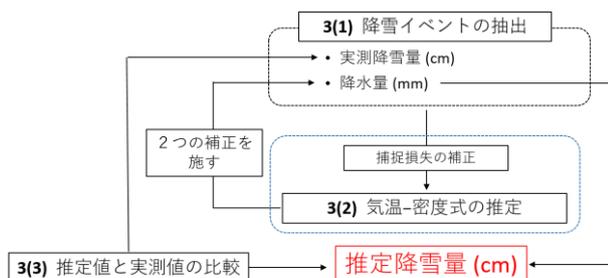


図-2 本論の解析手法の概略図

それぞれの条件を設定した理由を以下に述べる。

- ① 降水粒子が固体の氷、すなわち雪やあられとして降る条件。気温0°C以上でも、みぞれを始めとした降雪現象は確認できるが、本論では確実に降雪現象が発生する場合のみ抽出することを意図した。
- ② 冬期における降水量計測は、雨量計で捕捉した降雪粒子を溶かした後の液水のかさを計測する。よって、降雪粒子が雨量計内で溶けるまでの時間差が発生する可能性を考慮して、雨量計か積雪深計のどちらか一方でも0以上を計測したものを降雪ありとして判断した。
- ③ 一回の除雪に要する時間を想定した。

これらの条件で抽出した各降雪イベントに対して、捕捉損失の補正を施した降水量および実測降雪量の累計値、およびイベント平均気温を算出した。ただし、雨量計における、降雪粒子の捕捉損失の補正には大宮ほか<sup>7)</sup>の式を用いた。

### (2) 気候区分ごとの気温-密度式の推定

行政区分をベースとした気象庁の北海道の気候区分<sup>11)</sup>を、図-3に示す。この気候区分ごとに以下の手順で、気温と密度の関係式を導出した。

まず、各降雪イベントにおける平均気温の階級ごとに、降雪イベントを分類する。階級幅は0°Cから-1°C刻みとした。ただし、図-4に示す通り、-12°C以下における降雪イベント数は少ないため、これらは同じ階級として扱った。

次に、各気候区分および各気温階級の降雪イベントに対して、最適な新雪密度 $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>)を推定した。ここでは、

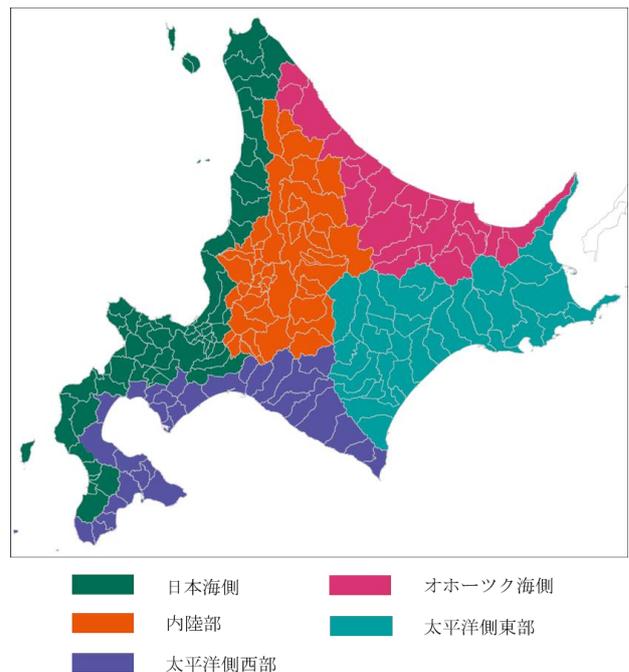


図-3 気象庁<sup>11)</sup>に基づいた北海道の気候区分

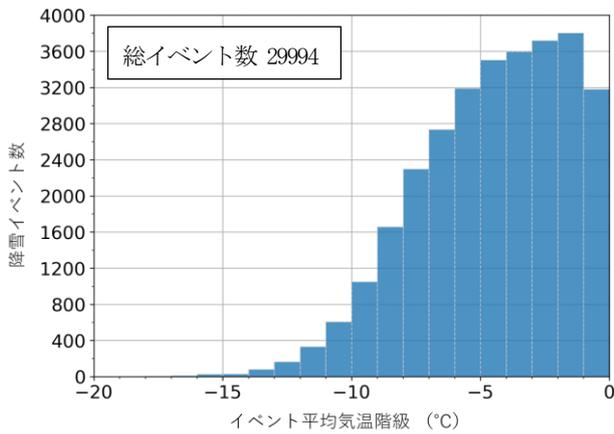


図-4 本論で解析した降雪イベントの度数分布

降雪イベントの総数を $N$ として、各降雪イベントは $i = 1, 2, \dots, N$ のように区別する。また、捕捉損失を補正した降水量および実測降雪量をそれぞれ、 $R_i$  (mm)および $S_i$  (cm)と表す。推定降雪量を $S_i'$  (cm)として、液水の密度が $1000\text{kg/m}^3$ であることを考慮すると、任意の降雪イベントにおける $R_i$ と $S_i'$ の関係は、以下の式(1)で表される。

$$1000 \times (10^{-3} \times R_i) \times d = \rho \times (10^{-2} \times S_i') \times d \quad (1)$$

ただし、 $d$ は任意面積( $\text{m}^2$ )である。式(1)を変形すると、

$$S_i' = \frac{100}{\rho} \times R_i \quad (2)$$

となる。 $A = \frac{100}{\rho}$ とすると、式(2)は

$$S_i' = A \cdot R_i \quad (3)$$

と表される。

以下、 $\Sigma$ 記号を総数 $N$ の降雪イベントにおける総和を表すものとする。推定降雪量 $S_i' = A \cdot R_i$ と実測降雪量 $S_i$ の差の二乗として、 $L = \Sigma(A \cdot R_i - S_i)^2$ を導入する。式(3)における $A$ は回帰係数にほかならず、 $L$ が最小値となるとき値として、以下の式(4)で求められる。

$$A = \frac{\Sigma R_i \cdot S_i}{\Sigma R_i^2} \quad (4)$$

前述の通り、 $A = \frac{100}{\rho}$ であることから、任意の気温階級における新雪密度は、最終的に式(5)で推定できる。

$$\rho = \frac{100 \times \Sigma R_i^2}{\Sigma R_i \cdot S_i} \quad (5)$$

ただし、 $N$ が(各気候区分における観測地点数)  $\times$  5未満であった気温階級は、推定から除外した。以上の計算で得られた気温階級ごとの新雪密度は離散値となる。よって、連続的な関数として新雪密度の値を得るために、カーブフィッティングを施した。新雪密度の変化割合は気温が下がるにつれて小さくなることを考慮して、本論では指数関数の形を用いた。

### (3) 推定降雪量と実測降雪量の比較

3(2)で推定した気候区分ごとの新雪密度の推定式を用いて降雪量を推定し、その推定の精度を検証するため、実測値と比較した。ここでは、実測降水量の特別値に対して、3(1)と同様の補正を施し、降雪イベントごとに累計して推定値とした。また、降雪イベントの抽出条件も3(1)と同様とした。

## 4. 結果・考察

### (1) 気温と新雪密度の関係式

気温と新雪密度の関係式を図-5に示す。斎藤<sup>12)</sup>によると新雪密度は $30\text{--}150\text{kg/m}^3$ の範囲に収まるが、本論はこの先行研究と整合的であった。内陸気候での推定式は、指数関数よりも3次関数などの多項式の方がよく適合する可能性がある。一方で、これらの推定は過剰適合(over-fitting)を引き起こし、現実的に起こり得ない密度値を算出する可能性もある。したがって、指数関数で示した本論の推定結果は概ね妥当であると考えられる。

### (2) 推定精度の検証

地点ごとの推定降雪量と実測降雪量の回帰係数 $a$ 、平均平方二乗誤差RMSEを図-6に示す。以下、本論では、回帰係数 $a$ が0.8以上かつ1.2以下を「ズレが小さい」と表現し、RMSEが4.0以下を「バラツキが小さい」と、それぞれ表現する。図-6より、多くの地点ではズレもバラツキも小さいことが分かった。すなわち、気候区分単位で同一の新雪密度式を用いても、一定精度の降雪量推定を行うことができたといえる。

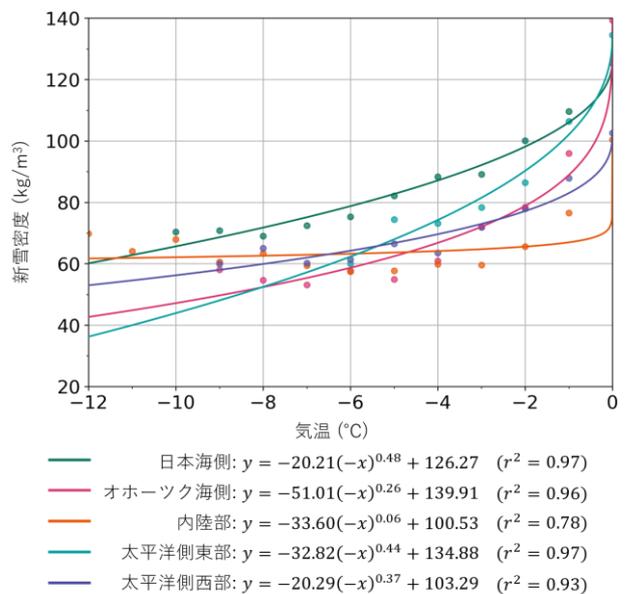


図-5 気温と新雪密度の関係式。括弧内の $r^2$ は決定係数を示す。

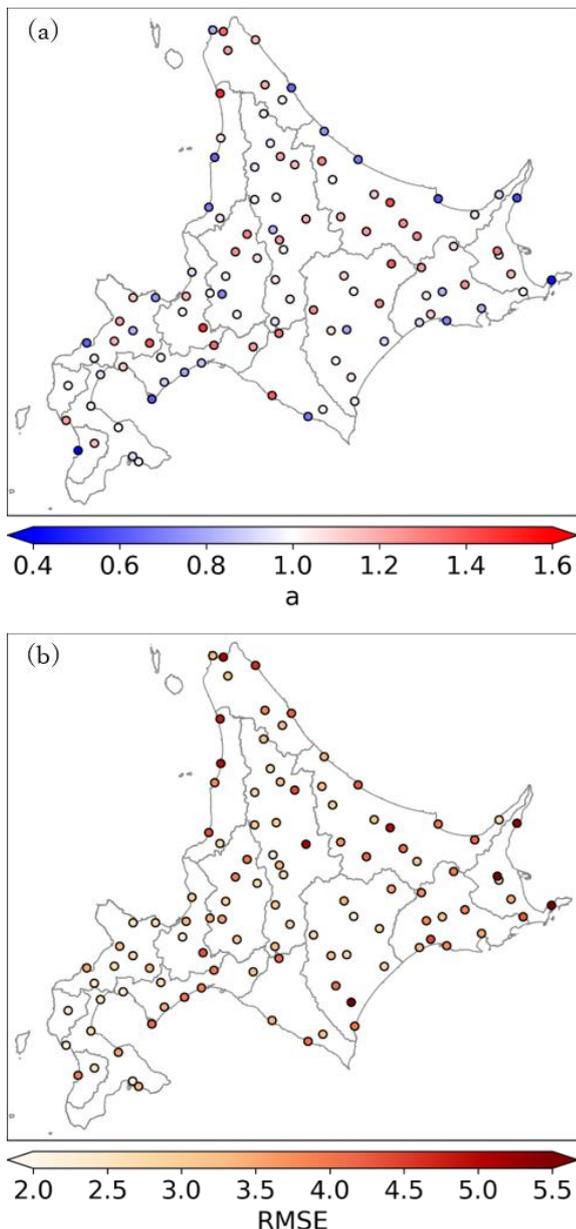


図-6 解析した各地点における、推定降雪量と実測降雪量の(a)回帰係数 a、および(b)平均平方二乗誤差 RMSE。

ズレが小さいおよびバラツキが小さい地点数を気候区分ごとに整理したものを表-1に示す。この結果から、特に内陸部や太平洋側東部および西部では高い精度で推定できた。すなわち、本論の推定手法には、地域ごとに推定精度の差が生じることが分かった。

## 5. まとめ

本論では、積雪深計を用いずに積雪深の情報を得る方法として、気温から新雪密度を推定して補正を施す手法

表-1 各気候区分における、ズレが小さいもしくはバラツキが小さい地点数。括弧内の数値は、各気候区分における割合を示す。

	(i) ズレが小さい	(ii) バラツキが小さい	(i),(ii)両方満たす	全地点数
日本海側	16 (59%)	21 (78%)	13 (52%)	27
オホーツク海側	9 (56%)	9 (56%)	8 (50%)	16
内陸部	19 (95%)	18 (90%)	17 (85%)	20
太平洋側東部	21 (81%)	18 (69%)	16 (62%)	26
太平洋側西部	11 (69%)	13 (81%)	11 (69%)	16
合計	76 (78%)	79 (72%)	66 (63%)	105

を提案した。解析した全105地点のうち、約63%である66地点では概ね整合的な結果が得られた。したがって、気候区分ごとに精度の差はあるものの、実測降雪量を降水量から再現することができたといえる。

今後の展望として、地域的な推定精度の差が発生した原因を系統的に分類し、推定手法を更新することを検討している。それに加えて、本手法をアメダス以外の気象観測データに対しても適用することができるか検討する。

謝辞：本研究の一部は、(公財)日立財団「2018年度倉田奨励金」により実施した。ここに記して謝意を示す。

## 参考文献

- 1) 横山宏太郎, 大野宏之, 小南靖弘, 井上聡, 川方俊和, 2003: 冬季における降水量計の捕捉特性. 雪氷, 65, 303-316.
- 2) 気象庁, 2014: 量的予報技術資料. 19, 35.
- 3) 気象庁: 解析積雪深・解析降雪量、降雪短時間予報. <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/kurashi/snow.html>
- 4) 新潟大学: 準リアルタイム積雪深分布. <https://platform.nhdr.niigata-u.ac.jp/~snow-map/>
- 5) 気象庁: アメダス. <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/amedas/kaaisetsu.html>
- 6) 国土交通省: 国土数値情報. [https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3\\_0.html](https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html)
- 7) 大宮哲, 原田裕介, 高橋丞二, 2020: 降雪強度把握のための雨量計の捕捉損失補正式の改良検討. 寒地土木研究所月報, 810, 31-34.
- 8) 山田穰, 1993: 日本海沿岸 22 都市における新積雪密度の度数分布と平均値について. 防災科学技術研究所研究報告, 52 51-67.
- 9) Meløysund, V., B. Leira, K. V. Høiseth, and K. R. Lisø, 2007: Predicting snow density using meteorological data. *Meteorol. Appl.*, 14, 413-423.
- 10) 中尾隆志, 2005: アメダスデータを用いた新雪密度の推定法. 土木学会北海道支部論文報告集, 61, II-7.
- 11) 札幌管区気象台, 函館海洋気象台, 2010: 北海道の気候変化(第1版). p.序-2 2010.
- 12) 斎藤博英, 1974: 雪の密度. 水利科学, 96, 35-48, 1974.