アメダスデータを用いた少雪地域の降雪量推定

～2014 年 2 月関東甲信大雪時の降雪量試算～

An estimation of snowfall amounts in light snow area using AMeDAS data - Case analysis of the heavy snowfall events in the Kanto-Koshin district, February 2014 -

大宮 哲[1]，原田 裕介[1]，西村 敦史[1]
Satoshi Omiya[1], Yusuke Harada[1] and Atsushi Nishimura[1]
Corresponding author: somiya@ceri.go.jp (S. Omiya)

In recent years, heavy snow disasters have frequently occurred even in light snow areas. In order to reduce various social damages, it is essential to grasp the actual conditions of snow depth and snowfall amounts over a wide area and at multiple points. In this study, we estimated the hourly snowfall amount using AMeDAS data (liquid precipitation, wind speed and air temperature) and observed new snow density.

１．はじめに

近年，普段あまり雪が降らない地域（以下，少雪地域）においても，集中的かつ記録的な大雪による交通障害が度々発生している．多雪地域に比べ除雪体制が整っていない中，被害を最小限に留めるためには，適時適切な通行規制の実施や道路利用者への情報提供が必要である．そのためには，広域かつ多点の道路上の降雪状況をリアルタイムに把握することが求められる．

現在，日本全域を対象とした積雪深や降雪量のリアルタイムメッシュ情報が複数の研究機関によって推定されており，各 Web サイトにて公開されている [1),2)]．これらのメッシュ推定値は，いずれも積雪深計の実測値による補間・補正処理に基づいている [3),4)]．したがって，積雪深計の設置数が少ない少雪地域の推定精度は，多雪地域に比べて低いと考えられる．なお，現在積雪深計が設置されている気象庁の官署・アメダスは全国に約 330 地点あるが [5)]，例えば本研究の対象地域である関東平野には 9 地点しかない（図 1）．

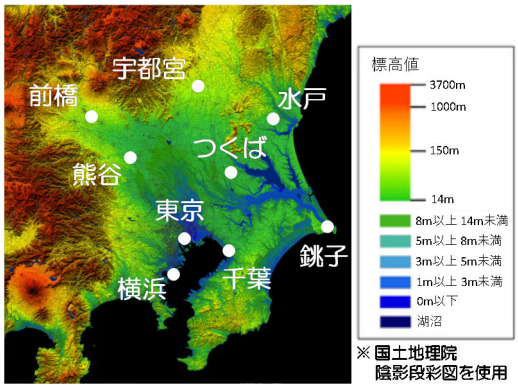

図 1　関東平野において積雪深計が設置されている気象庁の観測点（全 9 地点）

本研究では，少雪地域における降雪状況を，積雪深計を用いずに，一般的なアメダスデータ（降水量・風速・気温）から把握することを目指している．ここでは，2014 年 2 月に関東甲信地方で発生した 2 度の大雪事例（8～9 日，14～15 日）を対象に，図 1 に示す 9 地点から両事例とも降積雪が観測されなかった銚子を除いた 8 地点において時間降雪量（1 時間に降り積もった雪の深さ）を推定し，実測値との比較を行った．

２．雪水変換法について

本研究では，「雪水変換法」によって降雪量を推定した．雪水変換法とは，雪水比（ゆきみずひ）を用いて降水量から降雪量を求める方法である [6)]．雪水比は降水 1 mm が降雪何 cm に相当するかを示す指標であり，次式によって降水量から降雪量が求められる．

$$\text{降雪量（cm）} = \text{降水量（mm）} \times \text{雪水比}$$

雪水比は積雪密度 ρ と反比例の関係がある．ρ は雪粒同士の焼結や自重による圧密，降雪種の違い等，多くの要素に影響を受けるが，一般には気温が高いほど大きくなる（雪水比は小さ

[1] 土木研究所寒地土木研究所　Civil Engineering Research Institute for Cold Region, Public Works Research Institute

Copyright©2021 公益社団法人日本雪氷学会
The Japanese Society of Snow and Ice

くなる）．したがって，降雪時の雨量計（降水量計）のデータから精度よく降雪量を推定するためには，気温と雪水比の関係を適切に仮定することが肝要となる．なお，新雪時のρは30～150 kg m^{-3}程度である[7]（雪水比に換算すると0.67～3.33）．

これまで，気象庁[6]によって，過去23年間（1989～2012年）の降積雪事例を対象に，関東6都県の官署（東京・横浜・千葉・熊谷・前橋・宇都宮）における雪水比が統計的に整理されている．ここでは，積雪深計による実測値を雨量計による実測値で除することで雪水比が求められている．気象庁[6]は，上記6地点を気象特性の違いに基づいて2つの地域（南部都市部・北部平野部）に分けたうえで，気温階級別に雪水比を示している（南部都市部：0.1～0.9，北部平野部：0.5～1.6）．しかし，官署の1つである水戸については，南部都市部・北部平野部両方の気象特性を併せ持つという理由から，雪水比が示されていない．また，通常の天気予報において関東地方南部に属する熊谷（埼玉県）が，ここでは北部平野部として扱われているなど，地域の区分けが統一されていない．

このような地域の区分けが曖昧な雪水比は，意思決定を担う実務者（道路管理者や自治体の防災担当者等）にとって使いやすい指標とは言えないだろう．実務的な観点からは，地域の区分けが明確，もしくは地域に依らない雪水比を提示することが望ましいと考える．

3．降雪量の推定

本研究では，雪水比が地域に依らないと仮定したうえで，一般的なアメダスデータ（降水量・風速・気温）から少雪地域における降雪状況の把握を試みる．既往研究[7),8)]で示されている新雪時の積雪密度ρから換算した雪水比を，アメダス雨量計による時間降水量（捕捉損失補正済のもの，3.2節で説明）に適用し，時間降雪量を求めた．なお，実測値については気象庁の定義にしたがうこととし，積雪深計で毎正時に計測した積雪深の変化量（増加分）を時間降雪量の実測値とした．

3．1　使用した雪水比

降雪量の推定には次の3パターンの雪水比を使用した（①1.11，②0.67，③0.38もしくは0.76）．ここで，雪水比①はρ=90 kg m^{-3}（既往研究[7)]の平均値），雪水比②はρ=150 kg m^{-3}（既往研究[7)]の最大値）から換算した値にそれぞれ相当し，いずれも気温に依らない固定値とした．雪水比③は松田・清水[8)]の計測結果に基づく値である．松田・清水[8)]は2014年2月8日と14日に東京都内2地点（新宿区・千代田区）で新雪時のρを計測しており，気温+0.1～+0.6℃時の平均値が264 kg m^{-3}，-0.4～-0.8℃時の平均値が132 kg m^{-3}であったと報告している．ここでは，便宜的に，気温が0℃より高い時の雪水比は全て0.38（ρ=264 kg m^{-3}から換算），0℃以下の時は全て0.76（ρ=132 kg m^{-3}から換算）と仮定し，降雪量を推定した．なお，比較のため，気象庁が示した地域別の雪水比[6)]（以降，雪水比④とする）を用いた推定も行った．

3．2　雨量計の捕捉損失の補正

降雪粒子は雨滴に比べて軽いため，風の影響を受けやすく，雨量計への捕捉率が低下する[9),10)など]．すなわち，雨量計による実測値は多くの場合において実際の値を過小評価する．そこで，本研究では大宮ほか[10)]が示した風除け付き温水式雨量計への降雪粒子の捕捉率と風速の関係（図2）に基づき，雨量計の捕捉率低下による損失分を補正した．補正時には雨量計の高さ（受水口の高さ）における風速が必要となるが，ここでは風速の鉛直分布は対数則が成り立つと仮定し，各地点の風速計設置高さ[11)]における実測値から雨量計の高さにおける風速を算出した．日谷[12)]によると，関東平野にあるアメダス観測点の地面粗度は，その大半が0.5 mもしくは1 mである．また，雨量計の設置高さは1～1.5 mのものが最も多い．そこで，簡単のため，本計算では全8地点とも地面粗度を0.5 m，雨量計の高さを1.5 mとした．

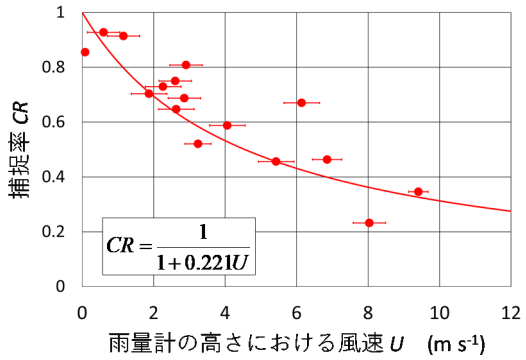

図2　雨量計の捕捉率と風速の関係[10)を改変]

Copyright©2021 公益社団法人日本雪氷学会
The Japanese Society of Snow and Ice

４．推定精度の検証

４．１　時間降雪量の比較

推定値と実測値の比較結果を，雪水比ごとに図 3 に示す．比較対象としたデータは，積雪深計によって降雪が記録されてから最大積雪深に達するまでの各時間降雪量である．ここでは，紙面の関係上，全地点（8 地点）・全事例（2 事例）のデータをまとめた結果について示してある（データ数は 260）．図 3 中には，推定値と実測値の類似性を評価するための指標である相関係数 R，誤差の絶対値を評価するための指標である二乗平均平方根誤差（RMSE），量的な一致度を評価するための指標である回帰係数 a（青の実線で記した回帰直線の傾き）についても付記してある．この結果より，雪水比③を用いた推定結果の精度が最も高いことが確認され，その回帰係数は 0.91，RMSE は 1.2 であった．これはすなわち，時間降雪量を推定した際，その約 68 %は実測値との差が±1.2 cm に収まることを示している．雪水比③の次に推定精度が高かったのは雪水比②を用いた場合であり，回帰係数は 0.80，RMSE は 1.7 であった．一方，雪水比①や④を用いた推定結果は雪水比②や③を用いた結果よりも実測値を過大評価する傾向があった．その理由として，雪水比①については，新雪時の積雪密度 ρ の平均値（=90 kg m^{-3}）[7]から換算したものである点が挙げられる．既往研究 [7]は積雪寒冷地における観測結果である．したがって，温暖な関東平野に適用する ρ としては小さすぎた（雪水比が大きすぎた）ためと考えられる．雪水比④については，雪水比の算出過程において雨量計の補足損失の影響が考慮に入れられていないことに起因していると考えられる．過小評価された実測時間降水量を用いたことで，雪水比自体が過大評価されたものと考えられる．

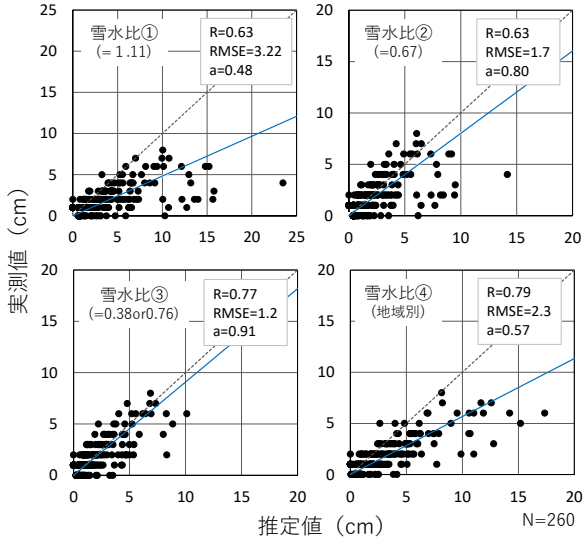

図 3 時間降雪量の比較

４．２　累計降雪量の比較

前節にて，雪水比③を用いた推定精度が最も高いことが示された．そこで，本節では雪水比③による推定累計降雪量について議論する．

図 4 に，時間降雪量の累計値の比較結果を示す．これは，積雪深計によって降雪が記録されてから最大積雪深に達するまでの時間降雪量の累計値の推移である．実測値を黒，推定値を赤で示してあり，実線が 2014 年 2 月 8～9 日，破線が同月 14～15 日の結果を示している（グラフごとに軸スケールが異なることに留意されたい）．なお，2 月 14～15 日の水戸は，総降雪量が 2 cm と少なく，積雪継続時間も約 2 時間と短時間であったことから，ここでは解析対象外とした．図 4 より，地点や事例による違いはあるものの，推定結果は実測値を概ね再現できていることが確認できる．

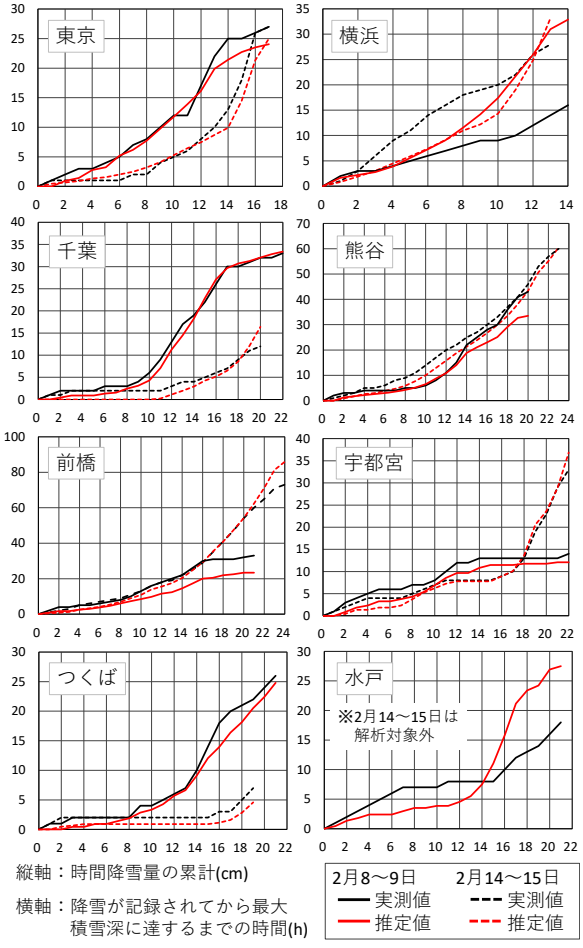

図 4 時間降雪量の累計値の時間推移

Copyright©2021 公益社団法人日本雪氷学会
The Japanese Society of Snow and Ice

次に，最大積雪深に達した時点の時間降雪量の累計値について，実測値，推定値，誤差（推定値から実測値を引いた値）の一覧を表1に示す．ここで，推定値および誤差は小数第2位を四捨五入して表示してある．誤差が最も小さかったのは2月8～9日の千葉であり，実測値が33 cmに対して誤差が+0.4 cmであった．誤差が2番目に小さかったのは2月14～15日の熊谷であり，実測値が60 cmに対して誤差が+0.6 cmであった．また，他の事例や地点においても，2月8～9日の横浜と2月14～15日の前橋を除き，誤差は全て10 cm以内に収まっていた．

表 1 時間降雪量の累計値の比較

	2014年2月8～9日			2014年2月14～15日		
	実測値	推定値	誤差	実測値	推定値	誤差
東京	27	24.1	-2.9	27	25.0	-2.0
横浜	16	32.9	+16.9	28	33.2	+5.2
千葉	33	33.4	+0.4	12	16.4	+4.4
熊谷	43	33.5	-9.5	60	60.6	+0.6
前橋	33	23.4	-9.6	73	86.0	+13.0
宇都宮	14	12.1	-1.9	33	36.9	+3.9
つくば	26	24.8	-1.2	7	4.6	-2.4
水戸	18	27.5	+9.5	解析対象外		

※単位はいずれもcm

５．まとめと今後に向けて

本研究では，一般的なアメダスデータ（降水量・風速・気温）から少雪地域における降雪状況を把握すべく，2014年2月に関東甲信地方で発生した2度の大雪事例を対象に降雪量を試算した．その結果，雨量計による実測データに対して捕捉損失補正[10]を施したのち，松田・清水[8]の積雪密度計測結果に基づき求めた雪水比（気温が0℃より高い時：0.38，0℃以下の時：0.76）を適用して求めた推定降雪量は，積雪深計による実測降雪量と概ね一致していた．

大都市圏は数cmの積雪であっても社会活動に与えるインパクトは甚大であるため，降雪量を推定する際には数cm単位の精度を求める必要があろう．しかし，例えばひとえに誤差5 cmと言っても，推定1 cmに対する5 cmと推定100 cmに対する5 cmでは意味合いが大きく異なる．したがって，推定時には，全体の降雪量に対する誤差，すなわち相対誤差（誤差を実測値で割った値）が小さいことも重要である．

本研究の完成は，誰でも容易に入手できる一般的なアメダスデータから広域かつ多点の降雪状況をリアルタイムに把握することを可能とするものである．積雪深計のデータを必要としないことから，降雪観測網が手薄な少雪地域における雪氷災害対策の一助となることが期待される．今後は，推定誤差の許容範囲について，意思決定を担う実務者にヒアリングを行うほか，解析事例を増やすとともに，他の少雪地域への適用可能性についても検討する予定である．

【謝辞】

本研究の一部は，公益財団法人日立財団「2018年度 倉田奨励金」により実施された．ここに記して謝意を示す．

【参考文献】

1) 気象庁, 現在の雪（解析積雪深・解析降雪量）https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/snow/jp/（2021年7月7日閲覧）
2) 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/index.php?FrontPage（2021年7月7日閲覧）
3) 気象ビジネス推進コンソーシアム, 解析積雪深・解析降雪量について, https://www.wxbc.jp/wp-content/uploads/2019/12/seminar_191211_02.pdf（2021年7月7日閲覧）
4) 伊豫部勉, 河島克久, 2020：準リアルタイム積雪分布監視システムの開発, 日本雪工学会論文集, **Vol.36**, No.1, 1-13.
5) 気象庁,地域気象観測システム（アメダス）, https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/amedas/kaisetsu.html（2021年7月7日閲覧）
6) 気象庁, 2014：量的予報技術資料, **19**, 35.
7) 斎藤博英, 1974：雪の密度,水利科学, **96**, 35-48.
8) 松田益義, 清水孝彰, 2015：2014年2月大雪時の東京都心部の雪観測と雪荷重評価, 雪氷, **77**(4), 303-311.
9) 横山宏太郎ほか, 2003：冬期における降水量計の捕捉特性, 雪氷, **65**, 303-316.
10) 大宮哲ほか, 2020：降雪時の降水量計の捕捉率に関する再検討 -風速変化の小さな降雪事例に着眼して-, 北海道の雪氷, **39**, 33-34.
11) 気象庁, 地域気象観測所一覧, https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/amedas/ame_master.pdf（2021年7月7日閲覧）
12) 日谷道夫, 2015：周辺環境から見積もったアメダス観測所の粗度 ：雨量計に関するメタデータ構築の試み, 天気, **62**(5), 455-458.

Copyright©2021 公益社団法人日本雪氷学会
The Japanese Society of Snow and Ice