

気象モデルによる最上地方周辺の降雪量推定手法に関する研究

根本征樹*1 中村一樹*1

1. はじめに

本研究では、山形県最上地方の、特に新庄市周辺地域を対象として、気象モデルにより予測される冬期降水量に関する検証と、簡易的な手法に基づいて降水量から降雪量を推定するための手法について検討する。気象モデル（数値予報モデル）は、大気の状態（気温、風速など）に関して、物理法則に基づいてコンピュータを用いた数値計算を実行し、未来の大気状態を予測するものである。現在、気象モデルの結果は天気予報にも日常的に用いられるなど有用性が高いが、冬期除雪対策等に必要となる降雪量（新積雪深など）については、モデルから得られる降水量に基づく変換などが必要となる場合が多い。その際、新積雪の密度の推定や、新積雪密度に関する何らかのパラメタリゼーションが必要となる。本来、新積雪密度は降雪種や気温等の気象状況により大きく変化し、したがって降雪の時期や場所によっても異なる。そのため、降水量予測値から新積雪深などを評価する場合、実測データに基づく比較検証や、各種パラメタリゼーションの高度化等が必要となる。本研究ではこうした比較検証に関わる基礎的なデータを提示し、現状における問題点を抽出するほか、今後の課題についても明確にする。

2. 研究方法

気象モデルによる最上地方周辺の気象場に関する予測値として、気象庁から配信されている気象庁メソスケールモデル（JMA-MSM）（石田、2005）による格子点データを用いる。MSMにより、日本国内およびその周辺地域における気象予測が水平解像度 5 km で得られる。得られる予測データは38時間先までとなる（1時間毎）。地域気象モデルの予測変数は、気温、風向、風速、降水量などである。気象モデルで得られる予測値に対して、対象地域における実測データ（風向風速、気温、降水量など）との比較検証を実施した。実測データとして、（国研）防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄雪氷環境実験所露場で取得された観測値および気象庁の地域気象観測システム（アメダス）のデータを用いた（表-1）。降雪量の比較に関しては、気象モデルで予測される降水量

から降雪量を推定し、実測値と比較するとともに、気象モデルの降水量に関する検証および降雪量を推定するための手法（新積雪密度の評価手法等）について検討する。なお本研究で対象とした期間は2016年12月上旬から2017年3月下旬である。

表-1 気象予測値の比較対象とした観測地点

対象地点	標高
新庄（防災科研露場）	127 m
新庄（アメダス）	105 m
肘折（アメダス）	330 m
金山（アメダス）	170 m
向町（アメダス）	212 m
尾花沢（アメダス）	106 m

3. 実測データとの比較

3.1 雪氷防災研究センター新庄雪氷環境実験所の観測データと予測値との比較

3.1.1 風向風速、気温、降水量

予測された気象要素について、実測値と比較する。はじめに、代表例として、防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄雪氷環境実験所構内の露場にて観測された気象データについて予測値と比較する。観測内容の詳細については佐藤ほか（2017）を参照されたい。風速、風向、気温、降水量（水換算）の時系列に関する予測値、実測値の冬期間を通した比較を図-1に示す。風速、風向、気温について、要素の時間変化の傾向（いつ、どの程度、強風等が発現、継続するかなど）は予測にて概ね良好に推定されている。ただし、実測値と予測値との対応を散布図にて直接比較した場合、両者の差異はより明確になる。図-2のa)、b)、c)に風速、気温および降水量に関する散布図を示すが、特に降水量については、予測値の過小評価が顕著であり、予測に基づく降水量の判断において注意を要することがわかる。なお、風速、気温については、回帰式（線形近似）の勾配（回帰係数）はそれぞれ約1.2、0.8であり、図-1のa)とc)に見られるとおり、両者の対応は比較的良好である（ただし決定係数の絶対値は0.5程度以下となり、ばらつきは少なくない）。降水量の回帰係数は0.4程度と極端に小さく、予測に基づき実

*1 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター

測値を推定する場合は6割程度の補正が必要となる。なお決定係数は0.1以下と極端に小さく、予測と実測との間の相関もかなり低いことから、降水量の予測値については、風速、気温等の場合と大きく異なり、相当の誤差が含まれることを念頭に置かなければならない。

一般に気象予測において、降水過程に関しては、何らかのモデル化（パラメタリゼーション）に基づき降水をもたらす雲の形成域および範囲などを予測するとともにそこからの降水量を推定するが、これらの空間分布については極めて非一様性が高い場合が多く（例えば筋状雲などバンド状のものなど）、したがって任意の固定点における降水量等の正確な予測は極めて困難である。降水量予測値については、特定点のみの値を評価するのではなく、降水範囲の面的な分布や広がり、分布の特徴（バンド状かなど）を総合的に判断し、地域スケール（例えば最上地方の各地区での平均的な降水量など）で評価することが正しい利用法と言える。

3.1.2 降雪量に関する検討

次に、同じ観測地点（新庄雪氷環境実験所構内）にて得られた降雪データについて、予測値と実測値との比較を試みる（図-3）。ただし、実測データについて、1時間毎の降雪深は実測されておらず、また予測値についても、上述の通り降水量のみである、したがってここでは、利用可能な実測値として、降雪検知器から得られる降雪パルス数（1時間あたりに通過する降雪片の個数に対応。降雪の強さの指標となる）を用いるとともに、予測値については、雨雪判別で気温+2℃以下の降水は全て降雪とし、また降雪密度を 100 kg m^{-3} と仮定して水換算降水量を時間降雪量（ cm h^{-1} ）に変換、算出した。物理量として異なるものを比較していることから直接的かつ定量的な比較検証は出来ないものの、両者の対応（降雪の有無のタイミング、および降雪の強度の大小など）は良く一致している。降雪量予測は降水量予測値に基づいているにもかかわらず、降水量における比較（図-1d）、図-2c）と異なり、時間変化傾向を良く捉えているのは注意すべき点である。本研究では気温のみを用いた単純な雨雪判別法を用いているが、これにより一定の確度で降雨、雪の判別が可能であると見なすこともできる。

3.2 アメダスデータを活用した降雪量の比較検証

アメダス（AMeDAS: Automated Meteorological Data Acquisition System）では、日本国内各地における気象要素の自動観測が実施されており、インターネット等を通じたデータ公開がなされている。最上地方周辺においては、新庄、金山、向町、肘折、尾花沢など5か所におい

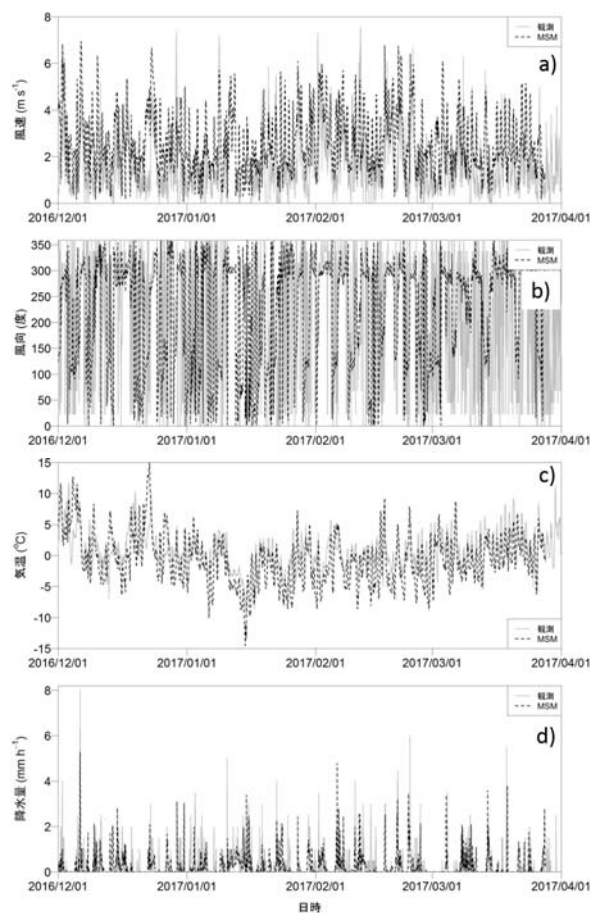


図-1 雪氷防災研究センター新庄雪氷環境実験所の露場における観測データと気象庁予測データ（JMA-MSM）との比較

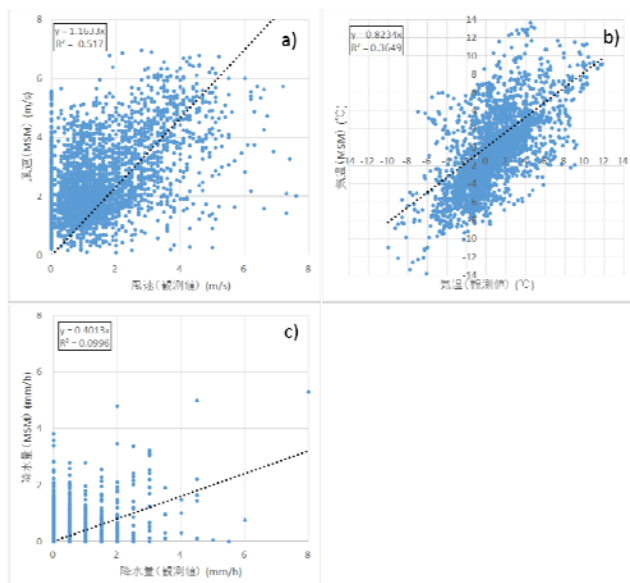


図-2 気象要素（図-1で示したものの）の観測値、予測値を比較した散布図。図中、回帰式（線形近似： $y = Ax$ の形）と決定係数（ R^2 ）も示している

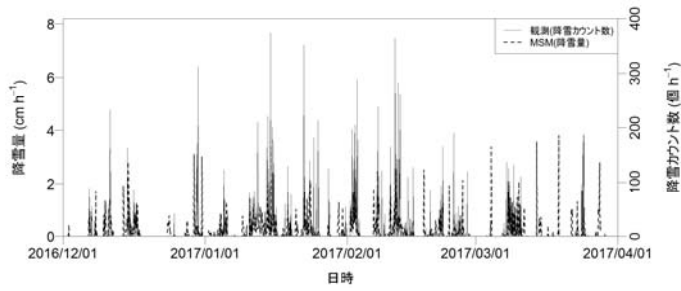


図-3 降雪量および降雪カウント数の時間変化。観測地点等は図-1 と同様

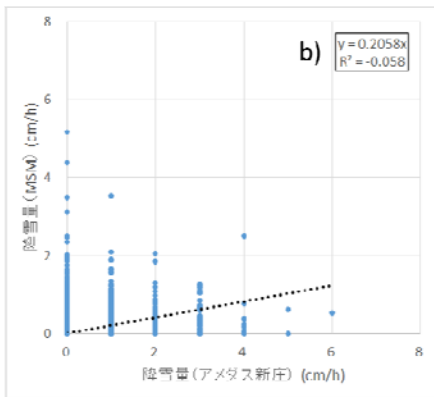
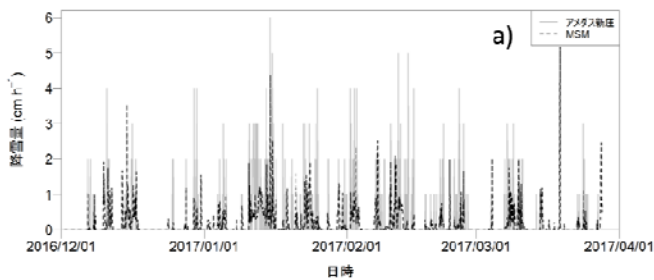


図-4 a):降雪量の時間変化、および b):観測値、予測値を比較した散布図 (アメダス新庄を対象)。図中、回帰式 (線形近似: $y = Ax$ の形) と決定係数 (R2) も示している

て降雪深、積雪深が計測されている。ここでは、アメダスの時間降雪量データを対象に、MSMの降水量から推定された時間降雪量の予測値との比較を実施した。なお、比較において、前節と同様に、雨雪判別および降雪密度は 100kg m^{-3} とする仮定を適用している。降雪量 (予測、観測) について、時間変化および散布図による比較を図-4 から図-6に示す (代表例として、アメダス新庄、肘折、金山の3か所の結果のみ示す)。アメダス観測地点の降雪量と予測値との比較について、図-1d)および図-2c)で示した降水量と同様の傾向が見られる。すなわち、時間変化 (時系列) においては要素の時間変化の傾向が予測により比較的良好に捉えられている (まとまった降雪の時間範囲について、予測値が実測値と良く対応している

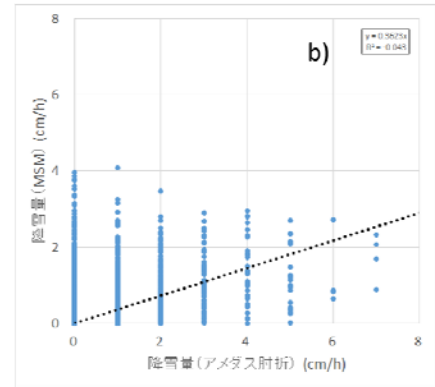
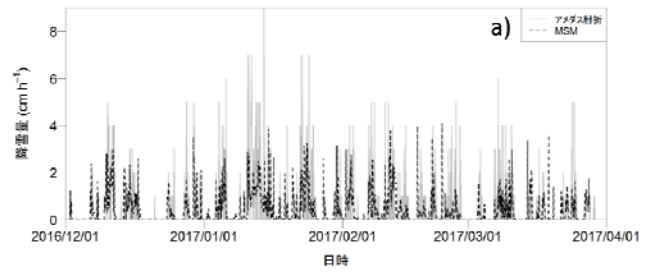


図-5 a):降雪量の時間変化、および b):観測値、予測値を比較した散布図 (アメダス肘折を対象)。図中、回帰式 (線形近似: $y = Ax$ の形) と決定係数 (R2) も示している

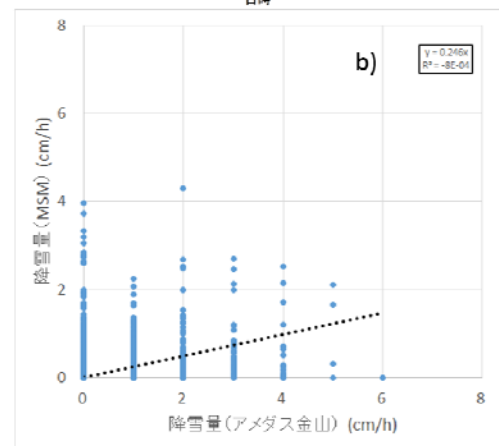
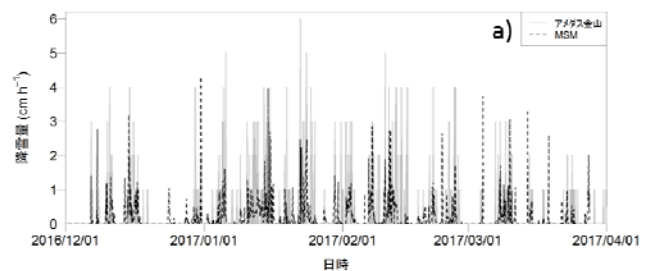


図-6 a):降雪量の時間変化、および b):観測値、予測値を比較した散布図 (アメダス金山を対象)。図中、回帰式 (線形近似: $y = Ax$ の形) と決定係数 (R2) も示している

など) もの、絶対量として予測値はかなり過小評価と

なっている。表-2に、それぞれの地点における回帰係数（アメダスの各観測地点(5か所全て)を対象とした散布図に対するもの）を小数第二位まで示す。回帰係数の値は0.18~0.36程度であり、図-2c)で示した降水量に対するものと同様もしくはそれより小さい値であった。降水過程の予測の困難さおよび予測値の適切な取り扱い方については上述した通りであり、再度、降雪等の予測値については特定のポイントのみではなく、ある程度空間平均的な見方（複数の予測点における値を平均化し、その周辺地域の予測値として扱うなど）が必要であることを強調しておきたい。

表-2 アメダスの各観測地点を対象とした散布図の回帰係数

アメダス対象地点	回帰係数
新庄	0.21
肘折	0.36
金山	0.25
向町	0.22
尾花沢	0.18

4. まとめ

本研究では、最上地方周辺を対象とし、気象予測モデル（JMA-MSM、5 kmメッシュ）の計算結果と実測値（雪氷防災研究センター新庄雪氷環境実験所露場データ、アメダスデータ）との比較を実施したほか、その結果に基づき、気象モデルに基づくこの地域での降雪量推定についての課題等について検討した。本研究で用いたような一般的な予測データにおいては、降雪量に関するデータは陽に計算されていない（水換算降水量のみが計算されている）ことが多い。そのため、気象モデルの予測値から降雪量などを推定する場合、はじめに、降水の雨雪判別が必要となる。その他、降雪深を推定する場合、新積雪の密度を与える必要がある。その際、より厳密な検討を実施するならば、風速、気温が新雪密度に及ぼす様々な影響など検討しなければならない（梶川ほか、2004）。比較検証において対象となる実測値についても、降水量計の捕捉率の問題（強風時には全ての降水を捕捉できず、過小評価となる可能性がある）など、降雪量の正確な推定は容易ではない。しかしながら、本稿で示した簡易的な手法（気温のみによる雨雪判別など）でも、上述したとおり、降雪の発現タイミングおよびその程度（強弱など）について、時間変化（時系列）をある程度適切に予測できるなど、いつ、どの程度の強さの降雪が起こりうるかについて推定する際、気象モデルの予測結果は大いに有用な情報となりうる。

今後検討すべき課題として、特に重要なものは、上述した密度の与え方の問題である。新積雪の場合でも、実際には本研究における第一近似的な一定値には成り得ず、一般的に30~150 kg m⁻³程度のばらつきがあるとされる（前野・黒田、1986など）。更に、気温、風速などの影響により新雪密度が変化する（風速、気温などの関数となる）ことも厳密には考慮すべきであることは既に述べたが、こうした課題について今後取り組む予定である。その他、本研究で用いた予測データ（5 kmメッシュ）のほか、近年ではより高解像度化された予測データの活用も可能となりつつある。上述したように降水過程においてはその範囲の正確な予測が容易ではないが、高解像度化により地形性降水過程などの表現精度が向上し、複雑かつ時間空間的な変動が顕著な降水分布について、予測精度が向上する可能性もある。この点についても今後の研究で検討したい。

謝辞

本研究は平成28年度克雪技術研究協議会の助成を受けている。

参考文献

- 石田純一，2005：新しいメソ数値予報モデル，平成17年度数値予報研修テキスト（気象庁予報部），pp.14-17.
- 梶川正弘，後藤 博，金谷晃誠，菊地勝弘，2004，気象要素を考慮した新積雪密度の推定式，雪氷，66，561-565.
- 前野紀一，黒田登志雄，1986：雪氷の構造と物性，古今書院，209pp.
- 佐藤研吾，小杉健二，根本征樹，安達 聖，阿部 修，2017：新庄における気象と降積雪の観測（2015/16年冬期），防災科学技術研究所研究資料，第408号，1-39.