

令和4年度 予報技術研修テキスト

# 降雪短時間予報について

## (気象研究所積雪変質モデルの導入、 手法の改良)

令和5年3月

気象庁 大気海洋部 業務課 気象技術開発室

### 変更履歴

2022年3月 初版

2023年3月 令和4年度版に更新

- ・積雪変質モデルSMAPの導入、各種補正手法の改良を反映、精度検証結果等を更新、その他記載事項の修正

# 目次

---

1. 降雪短時間予報の技術
2. 降雪短時間予報の精度評価
3. 気象条件別の事例紹介
4. 降雪短時間予報の予報特性と  
利用上の留意点

# 1. 降雪短時間予報の技術

---

# 降雪短時間予報の目的と変遷

近年、集中的・記録的な降雪が発生し、大規模な車両渋滞・滞留を引き起こすなど、社会活動への影響が問題になっている。

- 平成30(2018)年1月 首都圏の大雪（東京23cm、横浜18cm、前橋29cm）
  - 平成30(2018)年2月 北陸地方の大雪（福井県で記録的な大雪）
  - 令和2(2020)年12月 北陸地方の大雪（関越道で車両が多数立ち往生）
  - 令和3(2021)年1月 北陸地方の大雪（福井県や富山県で車両立ち往生） など
- ✓ 令和元(2019)年11月「解析積雪深・解析降雪量」の提供開始
- 現在の積雪の深さと降雪量の約5km四方の解析分布
- ✓ 令和3(2021)年11月「降雪短時間予報」の提供開始
- 雪による交通等への影響を前もって判断いただくための情報
  - 6時間先までの1時間ごとの積雪の深さと降雪量の約5km四方の予測
  - 気象庁ホームページでは「今後の雪」として提供
- ✓ 令和4(2022)年10月 積雪変質モデル (SMAP) を導入
- 気象研究所で開発された世界的に科学的評価を受けているモデル
  - 合わせて降雪短時間予報の各種補正手法を改良

4

解析積雪深・解析降雪量、積雪変質モデルSMAPについての詳細は、予報技術に関する資料集「解析積雪深・解析降雪量」を参照

近年の大雪事例については、以下を参照。

●平成30(2018)年1月 首都圏の大雪

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180131/20180131.html>

●平成30(2018)年2月 北陸地方の大雪

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180215/20180215.html>

●令和2(2020)年12月 北陸地方の大雪

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2020/20201224/20201224.html>

●令和3(2021)年1月 北陸地方の大雪

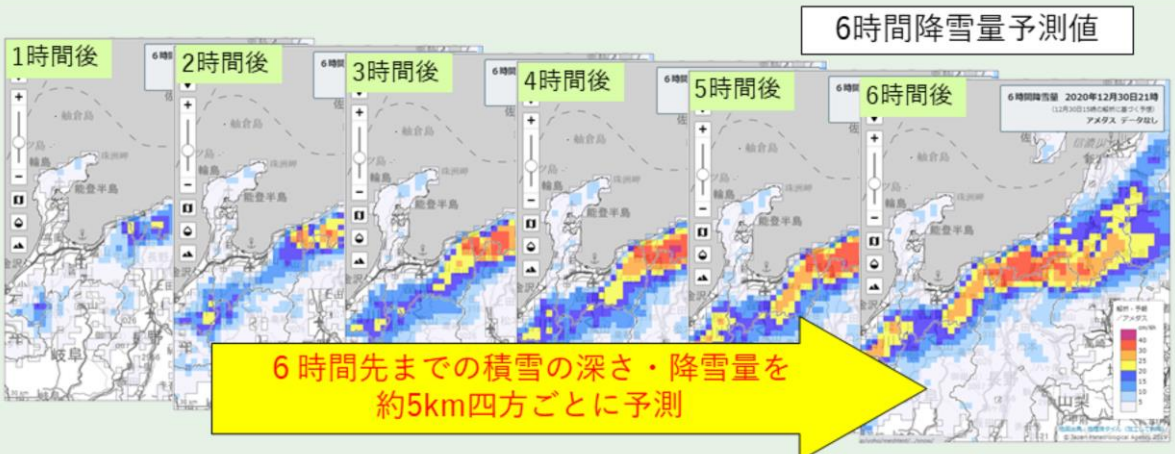
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2021/20210115/20210115.html>

気象庁ホームページ「今後の雪」

<https://www.jma.go.jp/bosai/snow/>

# 降雪短時間予報の概要

- ✓ 降雪短時間予報は、6時間先まで1時間ごとの「積雪の深さ」と「降雪量」を約5km四方の格子単位で面的に予測するもので、1時間ごとに更新する。
- ✓ 降雪量の計算値は、積雪の深さの1時間ごとの増加量を表す(減少の場合は0となる)。

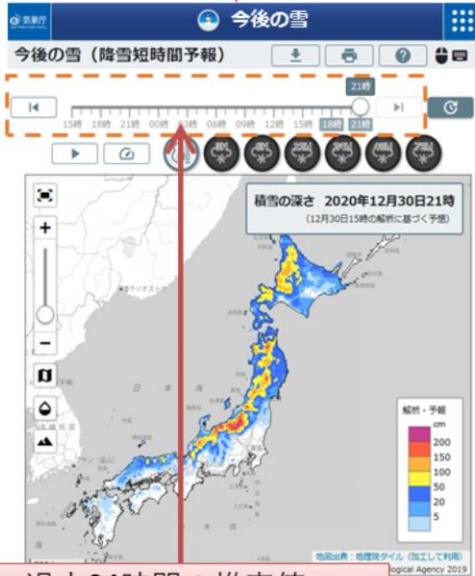


描画例 (2020年12月30日15時初期値。日本時間)、単位はセンチメートル

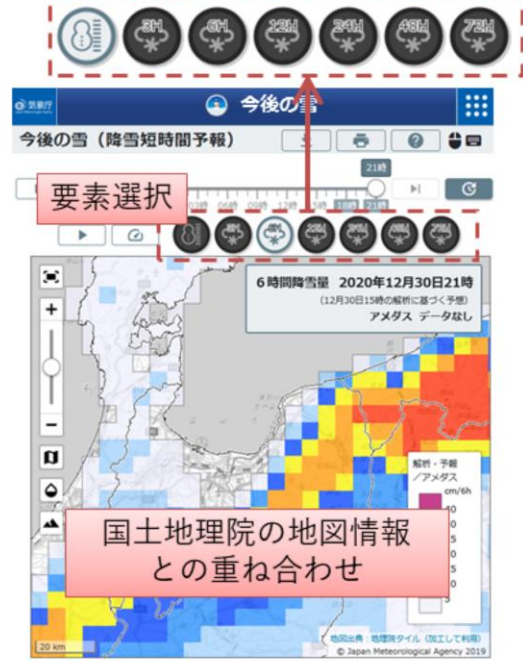
# 気象庁ホームページ「今後の雪」

解析積雪深の提供開始時「現在の雪」  
降雪短時間予報の提供に伴い「今後の雪」

積雪の深さ 降雪量（左から3,6,12,24,48,72時間）



過去24時間の推定値～  
6時間先までの予想を選択可



国土地理院の地図情報  
との重ね合わせ

URL

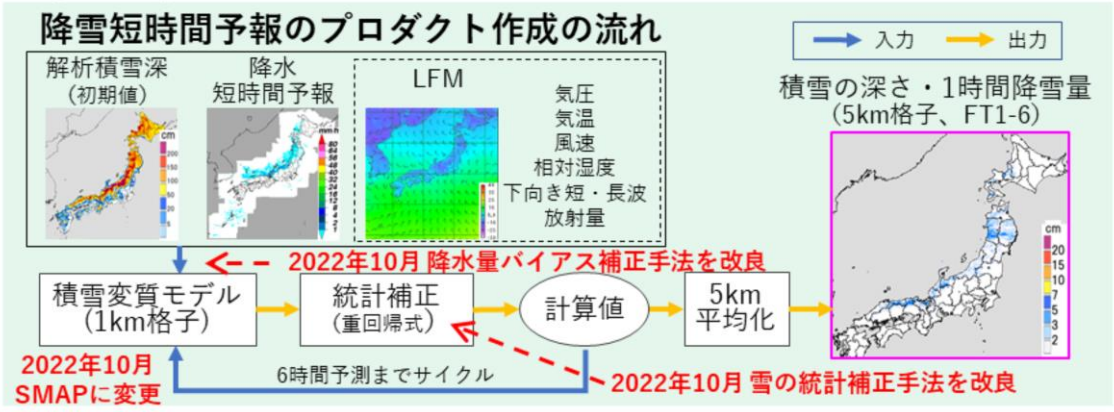
<https://www.jma.go.jp/bosai/snow/>





# 降雪短時間予報の作成手法

- ① 積雪の初期状態に解析積雪深を用い、降水量や気温などの予測値を積雪変質モデル（1km格子）へ入力する。
- ② モデルで計算された新しく降り積もる雪の量を統計的に補正した後、モデルで1時間後の積雪の深さを求める。
- ③ ②の結果を積雪の初期状態として、6時間先まで1時間ずつ計算を繰り返す。
- ④ 1km格子を5km格子に平均化し、積雪の深さの差分から降雪量を求める。



降雪短時間予報は、以下の手順で作成している。

- ① 積雪の初期状態に解析積雪深（5km平均化前の1km格子の積雪変質モデル出力値）を用い、降水短時間予報の降水量予測値、局地数値予報モデル（LFM）の気温や日射量などの予測値を積雪変質モデル（1km格子の鉛直1次元モデル）に入力する。
- ② 積雪変質モデルで新しく降り積もる雪の量を算出し、その値を統計的に補正する。その後、積雪変質モデルで積雪層内部の物理量の時間変化を計算することで、1時間後の積雪の深さを求める。
- ③ ②の結果を積雪の初期状態として、さらに1時間先の積雪の深さを求める。6時間先まで1時間ずつ繰り返して、6時間先までの積雪の深さを求める。
- ④ 1km格子を5km格子に平均化する。5km化した積雪の深さを1時間ごとに差分をとり、1時間降雪量とする。差分が負の場合は0とする。

## 【積雪変質モデルについて】

プロダクトの提供開始当初は山崎ら（1991）等を参考に開発したモデルを使用していたが、2022年10月より気象研究所で開発された積雪変質モデル（SMAP; Niwano et al.,2018）に変更した。

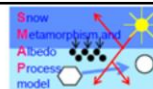
## 【入力データについて】

降水量：降水短時間予報

気圧・気温・風速・相対湿度・下向き短・長波放射量：LFMの2km格子の出力値を最近隣法により1km格子にダウンスケーリングし、高度補正を施したもの。

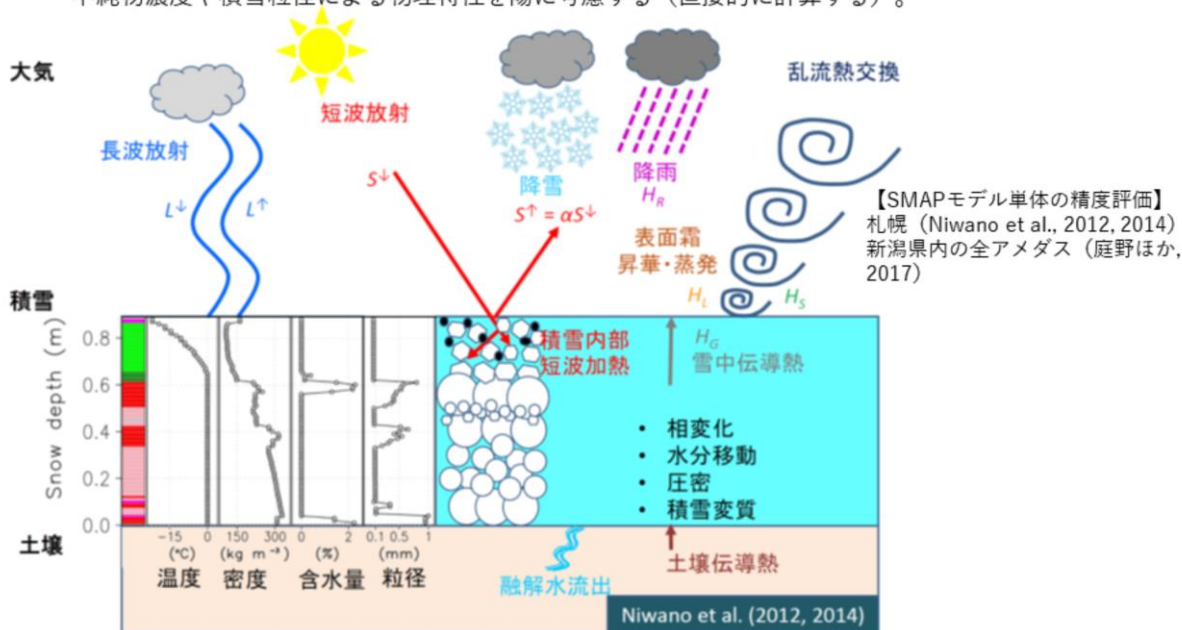
積雪変質モデルを1km格子で計算しているのは、入力データの最小格子間隔が1kmであることと、海岸線付近や山岳の地形をより細かく表現するためである。一方で、積雪変質モデルは雪が風で流される効果などが考慮されておらず、1km格子という細かさで提供するのは適当ではないため最後に5km平均化している。

# 積雪変質モデルSMAP



積雪内部の粒径プロファイルの時間変化を計算することが可能な鉛直一次元モデル

考えられる全ての積雪物理過程を出来るだけ詳細に考慮。PBSAM (Aoki et al., 2011) \*を内部に組み込み。  
 (\*) 研究所で開発した積雪アルベド物理モデル。積雪アルベドを求めるために積雪内部に存在する光吸収性不純物濃度や積雪粒径による物理特性を陽に考慮する(直接的に計算する)。



庭野ほか (2021) によると、SMAPモデルは、気象研究所で開発された積雪内部の粒径プロファイルの時間変化を計算することが可能な鉛直一次元モデルであり、気象場の変動が駆動する雪面熱収支の変化に応答して時間変化する積雪内部物理量(雪温、密度、含水量、粒径、雪質)を、相変化、水分移動、圧密、及び積雪変質などを考慮して多層計算することができる。一般的な積雪モデルは、大気モデルに現実的なアルベドや雪面温度の情報のみを渡せば良いことから、積雪内部の物理過程はかなり簡略化されており、積雪アルベドについても、気温、雪温、及び降雪後の経過時間などの関数(パラメタリゼーション)で計算されているのが一般的であるが、SMAPモデルは、考えられる全ての積雪物理過程をできるだけ詳細に考慮しており、特に気象研究所で開発された積雪アルベド物理モデルPBSAM (Aoki et al., 2011) がコアモジュールとして組み込まれていることが特徴である。

PBSAMは、積雪アルベドを求めるために積雪内部に存在する光吸収性不純物濃度や積雪粒径による物理特性を陽に考慮する(直接的に計算する)ため、SMAPモデルで計算される積雪粒径情報を入力としてPBSAMを駆動し、SMAPモデルではPBSAMから得られる精度の高いアルベドを用いて積雪内部の粒径プロファイルの詳細な時間変化を計算することができる。

SMAPモデルの精度検証としては、Niwano et al. (2012, 2014) において札幌での積雪プロファイルの評価が行われているほか、庭野ほか (2017) では気象庁非静力学モデルの結果を入力値として新潟県にSMAPを適用した評価が行われている。

積雪変質モデルSMAPの詳細や従来モデルとの比較は、予報技術に関する資料集「解析積雪深・解析降雪量」を参照



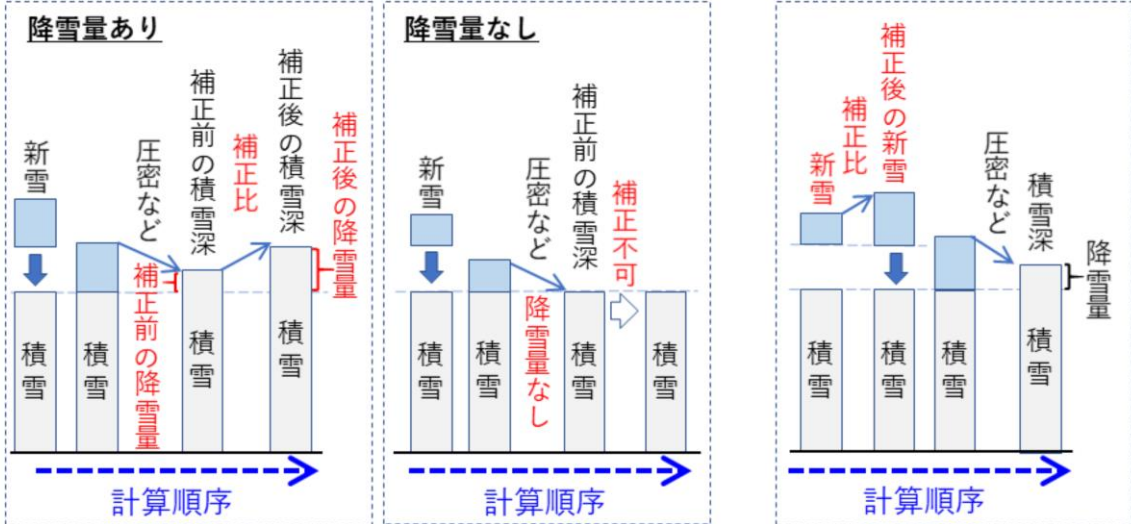
# 積雪変質モデルで計算する際の補正手法

## 「降雪量」の補正（従来の手法）

降雪量（積雪の深さの差）を求め、統計的に予測した補正比を乗じて補正量を算出する。  
⇒降雪量が0の場合は補正できない

## 「新雪の深さ」の補正

新雪の深さを求め、統計的に予測した補正比を乗じて補正量を算出する。  
⇒新雪があれば補正可能



9

積雪変質モデルで計算される予測値には、積雪変質モデルや入力データに含まれる系統誤差などの影響による誤差が含まれている。そこで、降雪量予測値がアメダスで観測されるような値に近づくように、統計的な補正を加えている。

「降雪量」の補正（従来の手法）では、新雪が積もっても圧密や融解などで降雪量（積雪深差）が0cmになった場合は統計的な補正ができない課題があった（図中央）。

そこで、補正の対象を「降雪量」から「新雪の深さ」へ変更する。新しい手法では、従来の手法では雪が降っても降雪量（積雪深差）が0cmとなり補正できなかった場合でも、補正の対象を新雪の深さにすることで統計的な補正が可能になる（図右）。これにより、降り方の弱い降雪や、気温が高めで降雪量が増えにくい（積もっても徐々に溶けていくような）場合でも、統計的な補正が可能になり精度向上を見込む。

# 積雪変質モデルで計算する際の補正手法

新雪の深さを補正するための補正比：新雪比を予測する重回帰式を作成する。

## ➤ 目的変数：新雪比（アメダスの新雪の深さ/積雪変質モデルの新雪の深さ）

- ✓アメダスの新雪の深さは観測値が得られないため、アメダス降雪量に積雪変質モデル（1km格子）の圧密などによる沈み込みを足したものをアメダスの新雪の深さとする。

アメダスの新雪の深さ

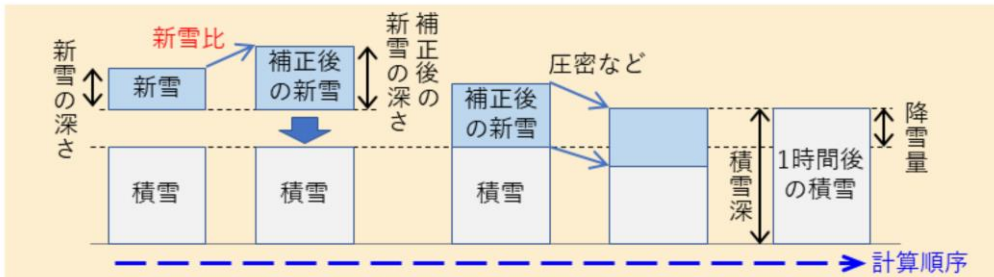
$$= \text{アメダス降雪量} + \text{積雪変質モデル新雪の深さ} - \text{積雪変質モデル降雪量}$$

積雪変質モデルで求められる圧密など※による沈み込み

※積雪変質モデルの沈み込みは、圧密、融解、昇華、吹雪による密度増加などを考慮。

- ✓新雪比の予測に用いる要素：降水量、地上気温、湿度、風速、地上気圧
- ✓重回帰式は、地上気温、積雪変質モデル新雪の深さ、下向き短波放射、で層別化。
- ✓学習期間は、2017/2018年～2021/2022年の11月から4月。

## ➤ 積雪変質モデルの予測した「新雪の深さ」に「新雪比」を乗じて補正する



10

前スライドのとおり、統計的な補正の対象を降雪量から新雪に切り替えるため、重回帰式の目的変数を従来の「降雪量比」から「新雪比」へ変更する。

新雪比は「アメダスの新雪の深さ / 積雪変質モデルの新雪の深さ」と定義する。学習用の新雪比を用意する際、アメダス積雪計では1時間降雪量は観測されるが

（圧密等を受ける前の）新雪の深さは観測できない。そこで、解析積雪深の計算で求められる（圧密や融解による）沈み込み量をアメダス1時間降雪量に足し合わせて、アメダスの新雪の深さとしている。

説明変数は、新雪比と各変数との関係を調査し、それらの関係性が高いと思われる要素として、降水量、地上気温、湿度、風速、地上気圧を選択した。

重回帰式の層別化パターンは、数多くの実験の中から最も精度良かった以下の区分を掛け合わせた18パターンとしている。

- ・下向き短波放射（日中・夜間の判定）：0W/m<sup>2</sup>、0W/m<sup>2</sup>より大きい、の2区分
- ・気温：-0.5℃未満、-0.5℃以上、の2区分
- ・積雪変質モデル新雪の深さ：【-0.5℃未満の場合】～1.5cm、1.5～2.0cm、2.0～3.0cm、3.0～4.0cm、4.0cm～、の5区分。【-0.5℃以上の場合】～1.5cm、1.5～2.0cm、2.0～3.0cm、3.0cm～、の4区分

# 降水短時間予報を入力する際の補正手法

## ✓ 降雪時の降水短時間予報のバイアス補正 2022.10変更

降雪時の降水短時間予報は、① FT※1後半に降水が弱まる、②標高の低い地域で過小傾向が顕著、といったバイアスがある。

⇒ FT、標高で層別化し、将来気候実験などで用いられる降水量のバイアス補正手法※2を参考に補正式を作成。降水短時間予報を積雪変質モデルへ入力する際に補正式を適用する。なお、降水0の場合は補正しない。

	標高300m未満	標高300m以上700m未満	標高700m以上
FT1 & FT2	$R1_{corr} = 1.162 * R1 - 0.023$	$R1_{corr} = 1.086 * R1 - 0.004$	$R1_{corr} = 1.101 * R1 + 0.005$
FT3 & FT4	$R1_{corr} = 1.269 * R1 + 0.060$	$R1_{corr} = 1.135 * R1 + 0.064$	$R1_{corr} = 1.111 * R1 + 0.036$
FT5 & FT6	$R1_{corr} = 1.400 * R1 + 0.324$	$R1_{corr} = 1.326 * R1 + 0.267$	$R1_{corr} = 1.278 * R1 + 0.199$

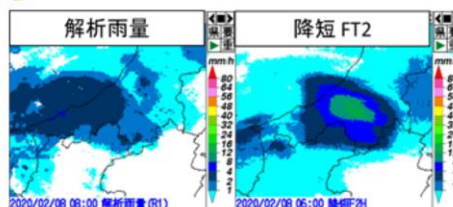
R1：補正前の降水量、R1<sub>corr</sub>：補正後の降水量

## ✓ 稀に見られる過発達への対応 変更なし

異常発達の例

降水短時間予報でごく稀に降水が異常に発達することがある。

⇒近年の短時間の大雪事例を参考に、バイアス補正後の1時間降水量の上限を7mmとする。



11

※1 FTは予報時間。例えばFT1は1時間後、FT3は3時間後の予報を表す。

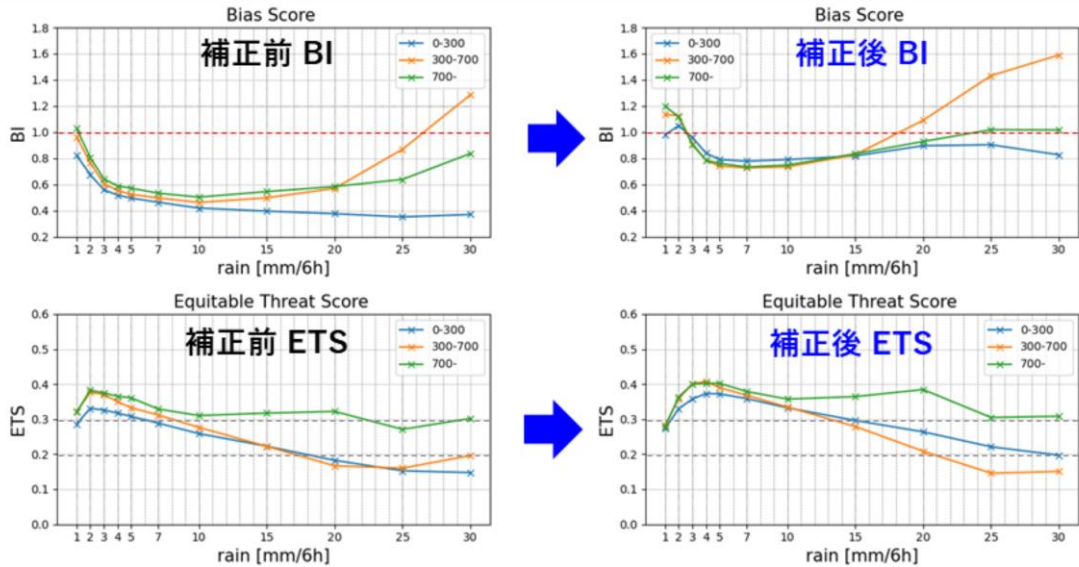
※2 バイアス補正手法は地球温暖化予測情報 第9巻（資料3(A3.4.2)）を参考にした。

<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol9/pdf/all.pdf>

# 降水短時間予報を入力する際の補正手法

## 降雪時（3℃以下）の降水短時間予報6時間降水量の標高別精度評価

期間：2020/2021年、2021/2022年の11月～4月。抽出条件：アメダス雨量計のある1km格子。(左)補正前の降水短時間予報、(右)バイアス補正と1時間降水量の上限7mmを適用



- ✓ バイアス補正を加えることで、降水短時間予報の過小傾向が大きく改善。
- ✓ 過小傾向の改善に伴い予測精度も概ね改善。

12

BI (Bias Score) は予測頻度を、ETS (Equitable Threat Score) は予測精度を表す指標。BIとETSの詳細はスライド18を参照。



## (補足) 降水短時間予報のバイアス補正式の作成手法

使用データ：解析雨量、降水短時間予報、地上気温 (LFM)

期間：2020/2021年、2021/2022年の11月～4月の12か月

層別化：FTは1と2、3と4、5と6の3区分、標高は300m未満、300m以上～700m未満、700m以上の3区分、を組み合わせた9通り。

### 補正式の作成手順 (層別化の区分ごとに実施)

1. 解析雨量、降水短時間予報、地上気温について、アメダス雨量計が位置する1km格子のデータを層別化の区分に応じて用意する。
2. 雪が混ざる気温を想定して地上気温 $3^{\circ}\text{C}$ 以下で降水量 $0.2\text{mm}^*$ 以上の降水短時間予報 (FT0 の気温で判定) とその時間の解析雨量をそれぞれ抽出する。  
※ $0.2\text{mm}$ はNuSDaSに格納された解析雨量・降水短時間予報の降水量最小値。
3. 解析雨量と降水短時間予報をそれぞれ多い順に並べる。
4. 降雪短時間予報では入力する1時間降水量の上限を $7\text{mm/h}$ としていることから、降水短時間予報が $7\text{mm/h}$ 以上のデータを取り除く。解析雨量も同じデータ数を多いほうから取り除く。
5. 解析雨量、降水短時間予報のデータ数の少ないほうに合わせて、データ数の多いほうを下から打ち切る。
6. 解析雨量、降水短時間予報を線形関係と仮定し、最小自乗法で回帰式 (=補正式) を作成する。

13

使用データのうち、LFMの地上気温は2km格子の出力値を最近隣法により1km格子にダウンスケーリングし、高度補正を施したものの。



# (補足) 降水短時間予報のバイアス補正式の作成手法

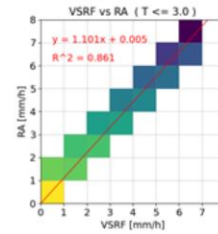
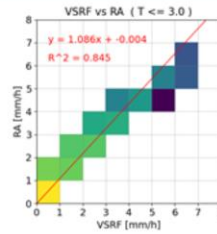
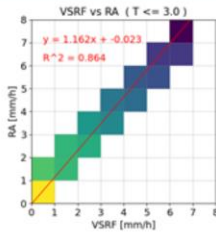
層別化の区分ごとの頻度分布、回帰式、決定係数(R<sup>2</sup>)

標高300m未満

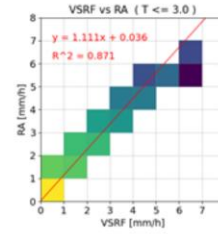
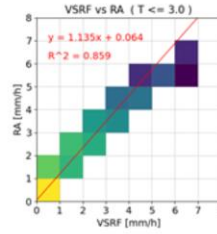
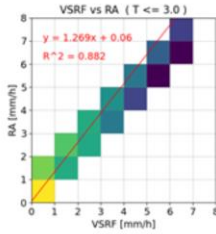
標高300m以上700m未満

標高700m以上

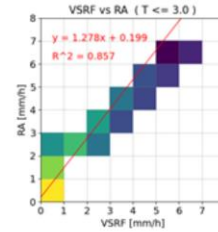
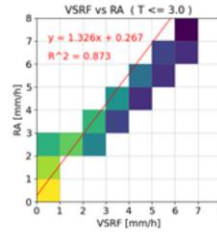
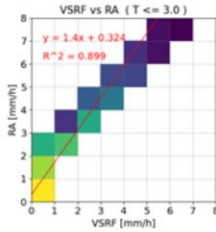
FT1  
&  
FT2



FT3  
&  
FT4



FT5  
&  
FT6



観測  
値  
↓  
降水短時間予報

# 降雪短時間予報の仕様 (2022年10月～)

## 【提供プロダクト】

水平分解能	5km格子	作成頻度	毎正時
対象領域	日本全国	予報期間	6時間先まで1時間間隔
要素	積雪深、1時間降雪量 (前1時間積雪深差)		

## 【積雪変質モデル】

水平分解能	1km格子	積雪層	最大99層
土壌層	土壌から積雪を常時3W/m <sup>2</sup> で加熱		
アルベド計算	光吸収性不純物濃度や積雪粒径の効果を陽に考慮 (直接的に計算) (PBSAM; Aoki et al., 2011)		
初期値	初期時刻における解析積雪深 (モデル出力値)		
入力値	降水量: 降水短時間予報 気温/風速/湿度/気圧/下向き放射量: LFM地上面		
出力値	積雪層: 厚さ・密度・温度・粒径・含水量など アルベド (短長波、可視、近赤外域) など		

## 【重回帰式による補正】

予測対象	新雪比: アメダス新雪の深さ/積雪変質モデル新雪の深さ (積雪変質モデル新雪の深さに新雪比を乗じて補正)		
説明変数	降水量(降水短時間予報)、気温、風速、湿度、気圧(LFM地上面)		
層別化	気温、積雪変質モデル新雪の深さ、下向き短波放射、による18区分		

15

降雪短時間予報の仕様を示す。

積雪変質モデルは2022年10月より、気象研究所が開発した積雪変質モデル: NHM-SMAP (Niwano et al., 2018) をベースにいくつかの積雪物理過程について最適化したものを導入した。積雪変質モデルの仕様は、予報技術に関する資料集「解析積雪深・解析降雪量」を参照

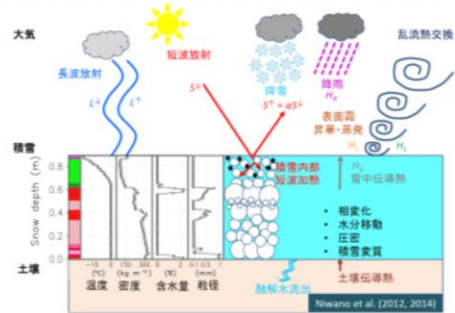
# 参考

## ◆ 降雪短時間予報と降雪量ガイダンスとの違い

- ✓ 降雪量ガイダンスは雪水比による降雪量を計算。
- ✓ 降雪短時間予報は積雪変質モデルを使用しており、積雪の圧密や融解などを考慮した「積雪の深さ」を計算可能。そのため、観測の「降雪量」と同様に、積雪の深さの差分から降雪量を計算できる。
- ✓ 積雪変質モデルを使用することで、将来、他の防災情報への活用が期待される。

## ◆ 積雪変質モデルを使用することで将来的に期待できること

- ① 積雪の安定度を算出可能  
⇒ 表層雪崩の危険性を推測
- ② 積雪底面からの水の流出量を算出可能  
⇒ 全層雪崩の危険性を推測  
⇒ 融雪期の水害の危険性を推測
- ③ 積雪表面の雪質や雪温等の計算結果  
⇒ 吹雪となる危険性を推測



16

降雪量ガイダンスの詳細は以下を参照。

● 数値予報課報告・別冊第64号：ガイダンスの解説

[https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwpreport/64/No64\\_all.pdf](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwpreport/64/No64_all.pdf)

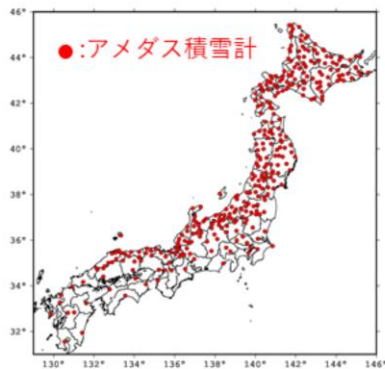
## 2. 降雪短時間予報の精度評価

---

# SMAP版降雪短時間予報の精度評価

## SMAP版と従来の降雪短時間予報を比較・検証

- ✓ 検証期間は2020/2021年、2021/2022年の11月～3月。
- ✓ 予測値は、変更前として2021年11月の運用開始時の手法の降雪短時間予報を、変更後として本資料の改良を適用した降雪短時間予報（SMAP版）を使用した。
- ✓ 検証データは、アメダス積雪計の観測値を用いた。
- ✓ 6時間降雪量の予測値と積雪計の観測値を抽出し、カテゴリ検証を行う。



	実況あり	実況なし	計
予測あり	FO	FX	FO+FX
予測なし	XO	XX	XO+XX
計	M	X	N

### 予測精度：ETS (Equitable Threat Score)

気候学な確率で「現象あり」が的中した頻度を取り除いて、予測または実況で「現象あり」の場合の予測適中事例数に着目して予測精度を評価する指標。-1/3～1の値を取り、1に近いほど精度が良い。

$$ETS = \frac{FO - S_f}{FO + FX + XO - S_f}$$

ただし、

$$S_f = (M/N)(FO + FX)$$

### 予測頻度：BI (Bias Score)

現象の予測頻度を示す指標。0以上の値をとり、1未満は予測の頻度が過小、1より大きいときは予測の頻度が過大。

$$BI = \frac{FO + FX}{M}$$

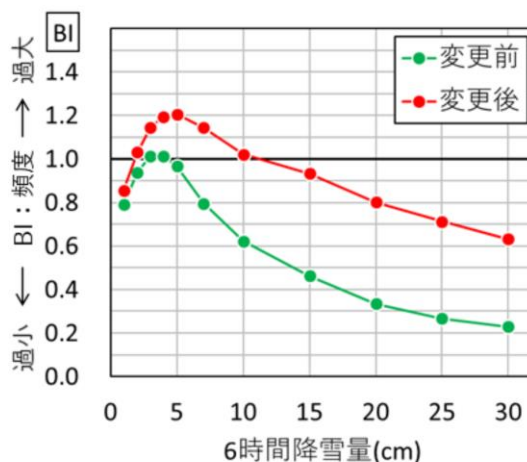
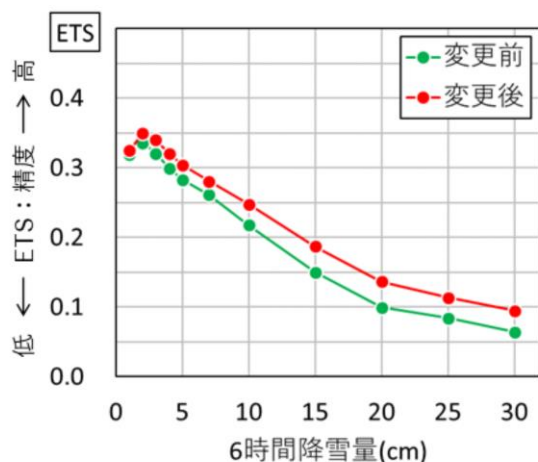
検証期間は2020年11月～2021年3月、及び2021年11月～2022年3月までの10か月間とした。検証には6時間降雪量を用いる。1時間降雪量は数cm程度と僅かなこともあり、1cmの違いで評価するようなことはせず、6時間積算した降雪量で評価する。



# SMAP版降雪短時間予報の精度評価

- ✓ 変更後（SMAP版）の予測精度は、変更前に対して全ての階級で改善した。
- ✓ 変更後の予測頻度は、5cm/6h付近で1を超え過大傾向となった。15cm/6hを超えてくると過小傾向が見られるが、変更前に対して大きく改善した。

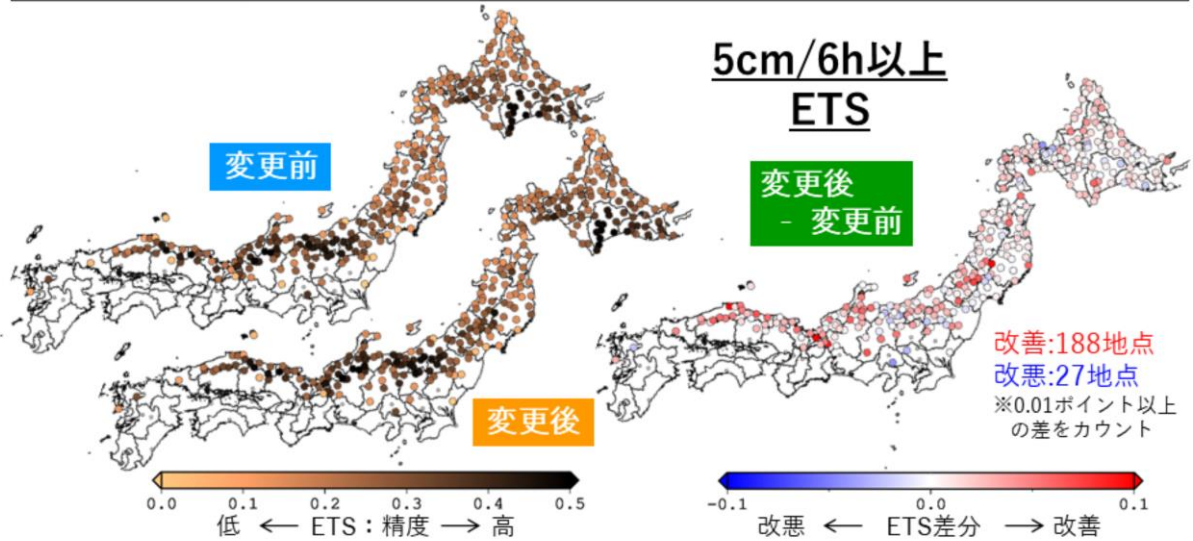
アメダス積雪計に対する精度評価  
2020/2021年、2021/2022年の11月～3月



# アメダス地点ごとの精度評価

観測と予報の事例数の合計が10事例以上を描画

アメダス6時間降雪量に対するスコア（6時間5cm以上）  
2020/2021年、2021/2022年の11月～3月。左：予測精度（ETS）、右：予測精度の差分



- ✓ 変更後は多くの地点で予測精度が改善した。
- ✓ 特に、北陸地方西部～山陰地方で改善の幅が大きい。

20

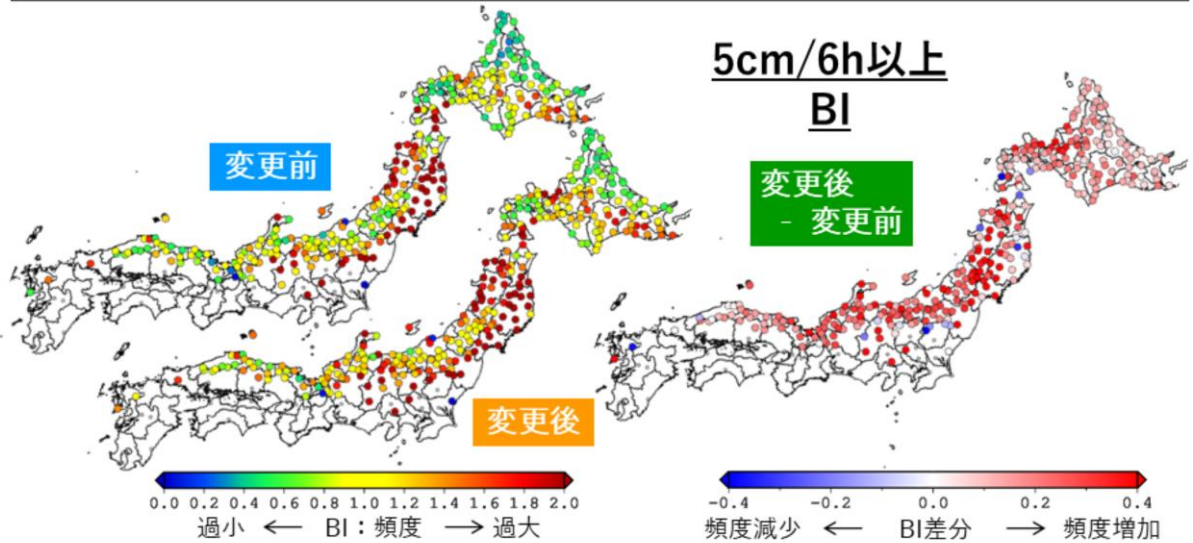
変更前と比べて予測精度の地域特性に変化は見られない。6時間5cm以上の降雪に対する変更後の予測精度の地域特性は以下のとおり。

- ・北海道の道北では精度がやや低い。これは降水短時間予報に使用している気象レーダー観測において、道北では雪雲がレーダーで捉えにくく、降水短時間予報の精度が周囲と比べてやや低いことが要因。
- ・北海道太平洋側東部では精度が高い。降水短時間予報の予測精度が比較的良い南岸低気圧の影響を複数回受けたことによるものと考えられる。
- ・東北地方北部では精度が低い。
- ・東北地方南部～山陰地方の東部にかけて、比較的精度が高い。

# アメダス地点ごとの精度評価

観測と予報の事例数の合計が10事例以上を描画

アメダス6時間降雪量に対するスコア（6時間5cm以上）  
2020/2021年、2021/2022年の11月～3月。左：予測頻度（BI）、右：予測頻度の差分



- ✓ 東北地方南部～山陰にかけて、変更前ではやや過小傾向の地域が広がっていたが、変更後では適切または過大傾向へ変化した。
- ✓ 東北地方北部では変更前で過大傾向が明瞭だったが、変更後ではこの傾向が強まった地点が多い。

21

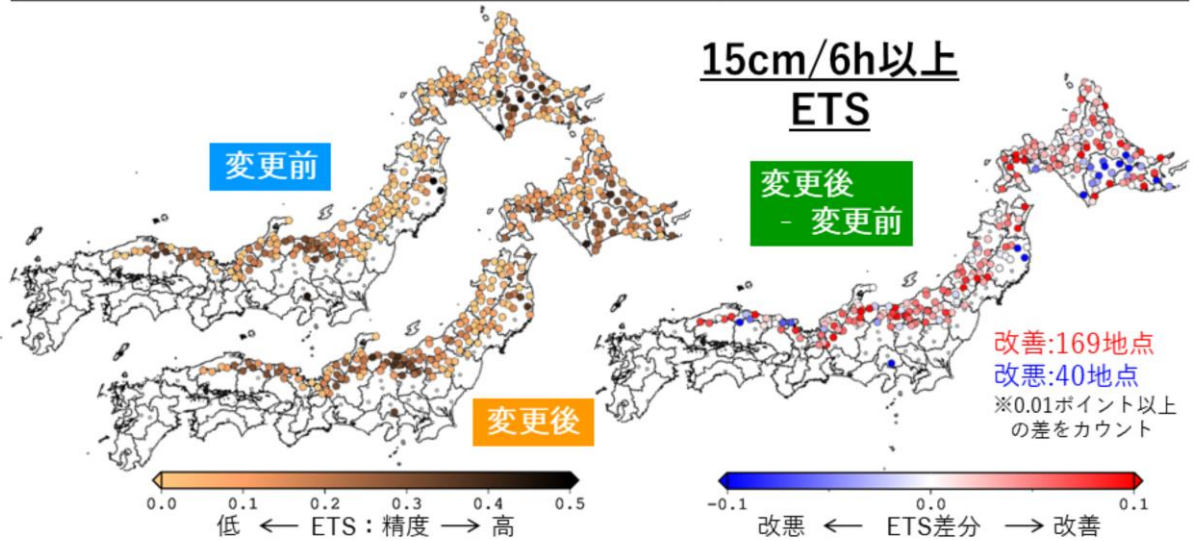
変更前と比べて予測頻度は全国的に大きくなった。6時間5cm以上の降雪に対する変更後の予測頻度の地域特性は以下のとおり。

- ・北海道の道北では頻度がやや低い。これは降水短時間予報に使用している気象レーダー観測において、道北では雪雲がレーダーで捉えにくく、降水短時間予報の精度が周囲と比べてやや低いことが要因。
- ・北海道太平洋側東部では頻度がやや過大。降水短時間予報の予測精度が比較的良い南岸低気圧の影響を複数回受けたことによるもので、降水量バイアス補正によってやや過大傾向が強まった。
- ・東北地方北部では過大傾向が顕著。降水量バイアス補正によってやや過大傾向が強まった。
- ・東北地方南部～山陰地方の東部にかけて、予測頻度が適切な地域が多い。

# アメダス地点ごとの精度評価

観測と予報の事例数の合計が10事例以上を描画

アメダス6時間降雪量に対するスコア（6時間15cm以上）  
2020/2021年、2021/2022年の11月～3月。左：予測精度（ETS）、右：予測精度の差分



- ✓ 変更後は多くの地点で予測精度が改善した。
- ✓ 北海道では十勝・釧路地方の沿岸部で改善が見られるが、同地域の内陸では精度が低下した（それでも他の地域よりは比較的精度が高い）。

22

変更前と比べて予測精度の地域特性に変化は見られない。6時間15cm以上の降雪に対する変更後の予測精度の地域特性は以下のとおり。

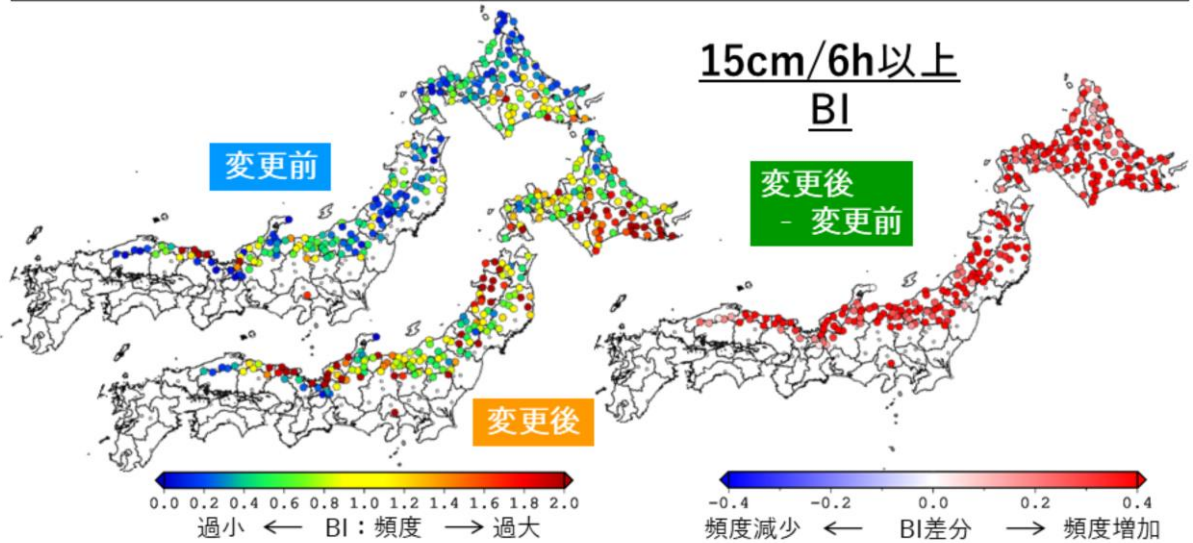
- ・北海道太平洋側東部では、6時間5cm以上と同様に周囲と比べて予測精度が高い。
- ・北陸地方から山陰にかけての一部では予測精度が高い地域が見られる。これらの地域は日本海寒帯気団収束帯：JPCZの影響で大雪となった事例が複数あることから、JPCZによる大雪は予測精度が良いことが期待できる。要因として、JPCZは雪雲が発達するためレーダーで捉えやすく、降水短時間予報の精度が良いことが挙げられる。
- ・日本海側でJPCZの影響を受けなかった地域では、主に冬型の気圧配置（JPCZを除く）による大雪の影響を受けていたが、予測精度は低い地点が多い。



# アメダス地点ごとの精度評価

観測と予報の事例数の合計が10事例以上を描画

アメダス6時間降雪量に対するスコア（6時間15cm以上）  
2020/2021年、2021/2022年の11月～3月。左：予測頻度（BI）、右：予測頻度の差分



- ✓ 変更後は変更前と比べて過小傾向が大きく改善した。
- ✓ 一方で、北海道の十勝・釧路地方や東北地方北部、北陸地方西部から山陰地方などでは過大傾向の地域も見られる。

23

変更前と比べて予測頻度は全国的に大きくなった。6時間15cm以上の降雪に対する変更後の予測頻度の地域特性は以下のとおり。

- ・北海道の道北では周辺と比較して頻度が低い。要因は6時間5cm以上と同様。
- ・北海道太平洋側東部では予測頻度の過大傾向が顕著。この要因も6時間5cm以上と同様と見られる。
- ・北陸地方から山陰にかけての一部では、頻度が過大の地域が見られる。これらの地域はJPCZの影響を複数回受けたが、JPCZは降水短時間予報の精度が良く、降水量バイアス補正の効果でやや過大傾向となったと見られる。
- ・日本海側でJPCZの影響を受けなかった地域では、主に冬型の気圧配置（JPCZを除く）による大雪の影響を受けていたが、やや過小傾向の地点も見られるものの、比較的頻度が適切な地点が多い。



# 降雪短時間予報の精度評価のまとめ

精度向上のため2022年10月に適用したものは次の3つ

- ① 積雪変質モデルSMAPの導入
- ② 統計補正の対象を「降雪量」から「新雪の深さ」へ変更
- ③ 降水量バイアス補正手法の改良

精度評価結果や想定される効果・影響は次のとおり。

精度評価結果、及び想定される効果・影響	寄与
大雪時の過小傾向が大きく改善。	① ③
予測精度が降雪量の全ての階級において改善。	① ② ③
降り方の弱い降雪や、気温が高めで降雪量が増えにくい場合でも、統計的な補正が可能になり精度向上を見込む。	① ②
従来 of 降雪短時間予報で降雪量に過大傾向が見られる地域は、過大傾向が若干強まる場合がある。	③

24

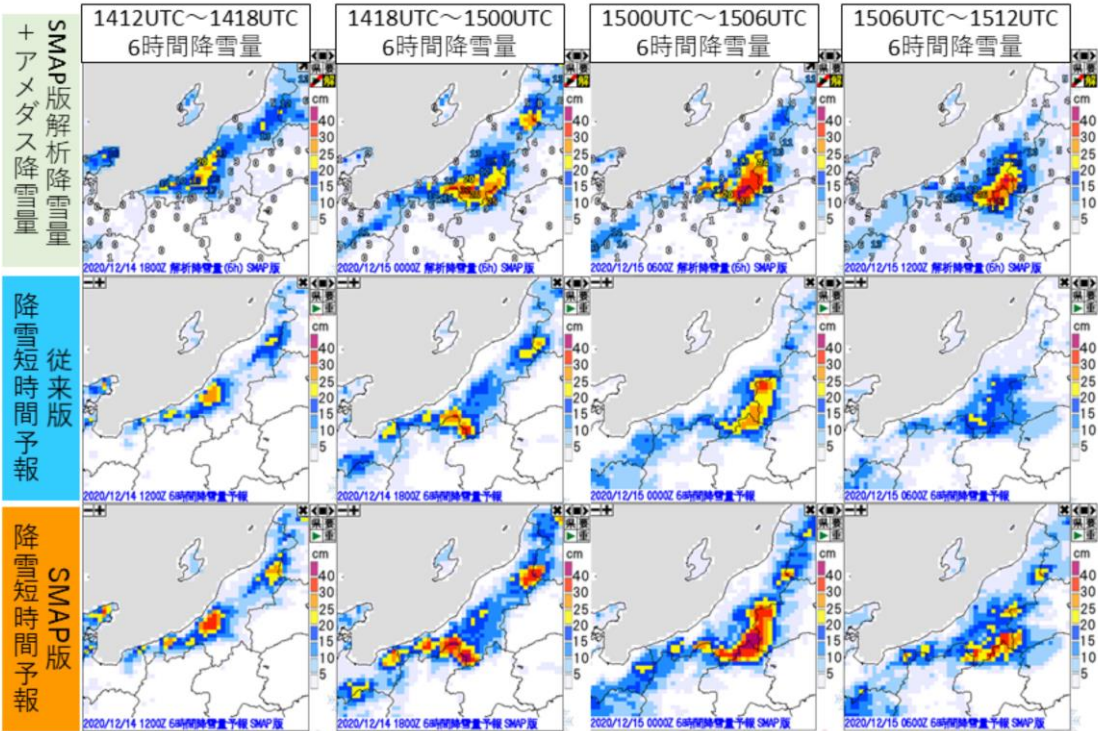
※表で示した「①積雪変質モデルSMAPの導入」による寄与については、従来の積雪変質モデルと、積雪変質モデルSMAPとの（新雪の統計補正を適用しない）比較検証の結果、6時間降雪量の予測精度（ETS）はほぼ全ての階級で改善し、予測頻度（BI）は大雪時の過小傾向が改善することを確認したことによる（本資料では割愛）。

### 3. 気象条件別の事例紹介

---

# 2020年12月14-15日 冬型の気圧配置による大雪

従来版では降雪量が過小に表現されていた。SMAP版では位置ずれはあるものの、降雪量の表現は大きく改善した。



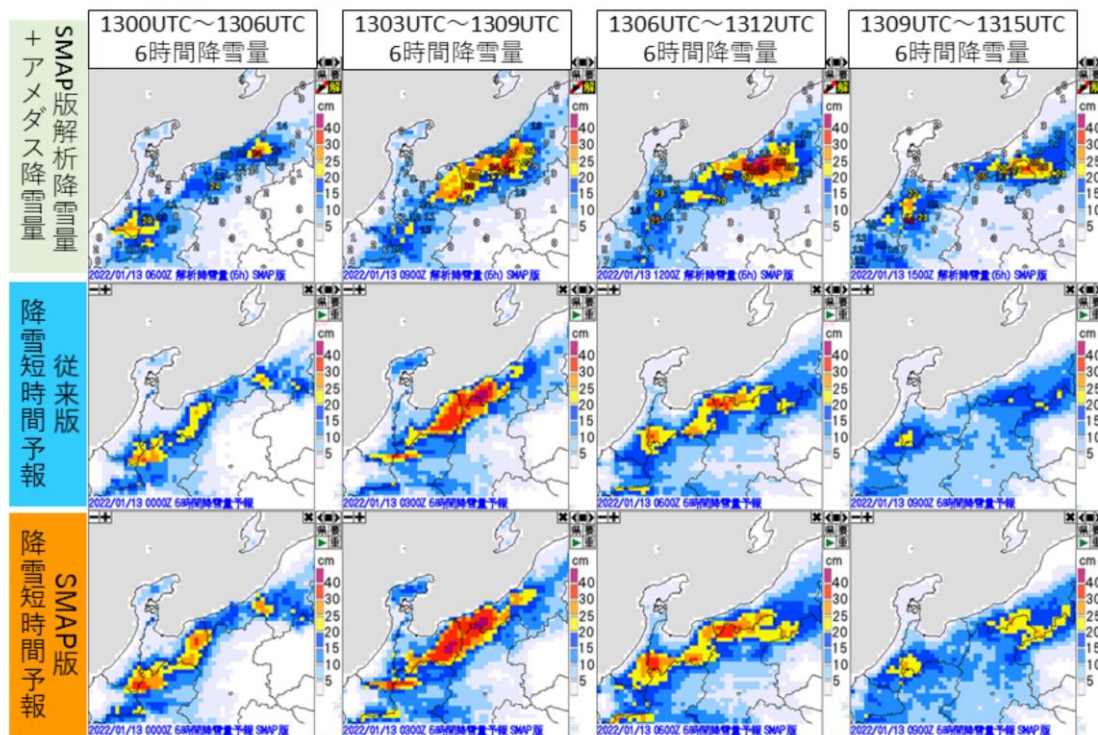
26

## 【2022年10月に適用した内容との関係】

- ・ 積雪変質モデルSMAPの導入や、降水量バイアス補正手法の改良により、大雪の表現が改善したと見られる。

# 2022年1月13日 冬型の気圧配置による大雪

従来版では降雪の弱まるタイミングが早かったが、SMAP版では解析と同様に大雪が継続している。



27

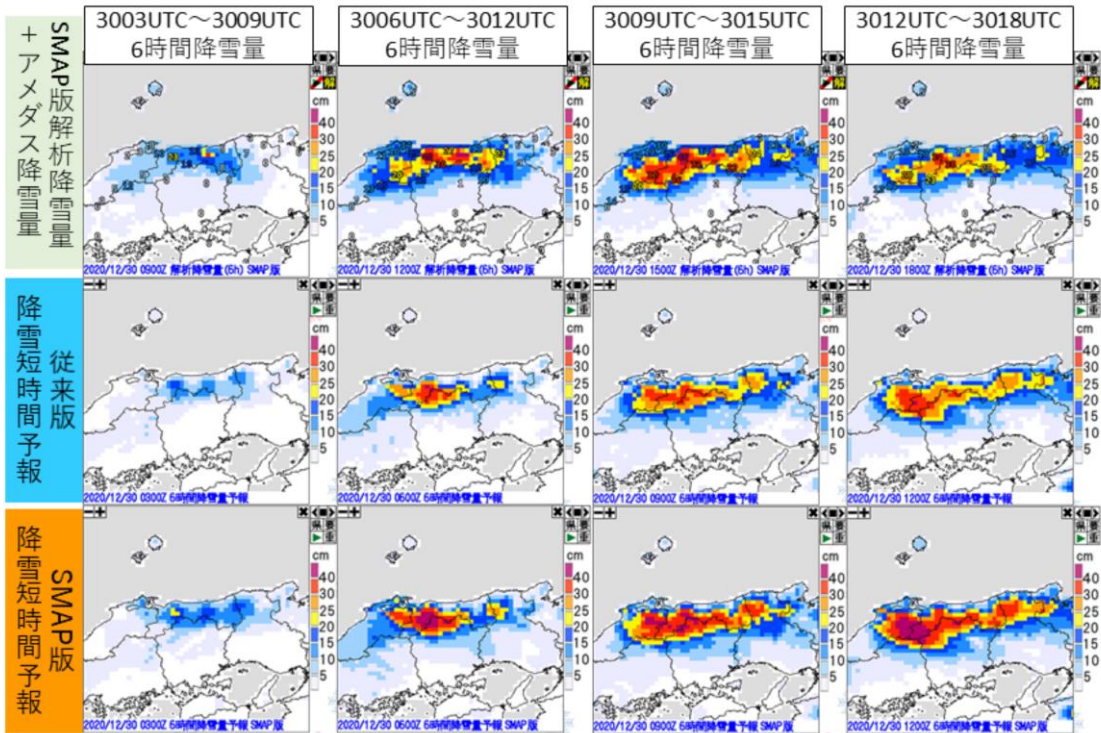
## 【2022年10月に適用した内容との関係】

・積雪変質モデルSMAPの導入や、降水量バイアス補正手法の改良により、大雪が継続することを適切に表現できるようになったと見られるが、より過大になった地域もある。



# 2020年12月30-31日 JPCZによる山陰の大雪

JPCZが山陰を指向。従来版で山沿いの大雪はある程度予測できていたが、沿岸部は過小。SMAP版は沿岸の降雪量が若干増え、山地では過大となった初期値も。



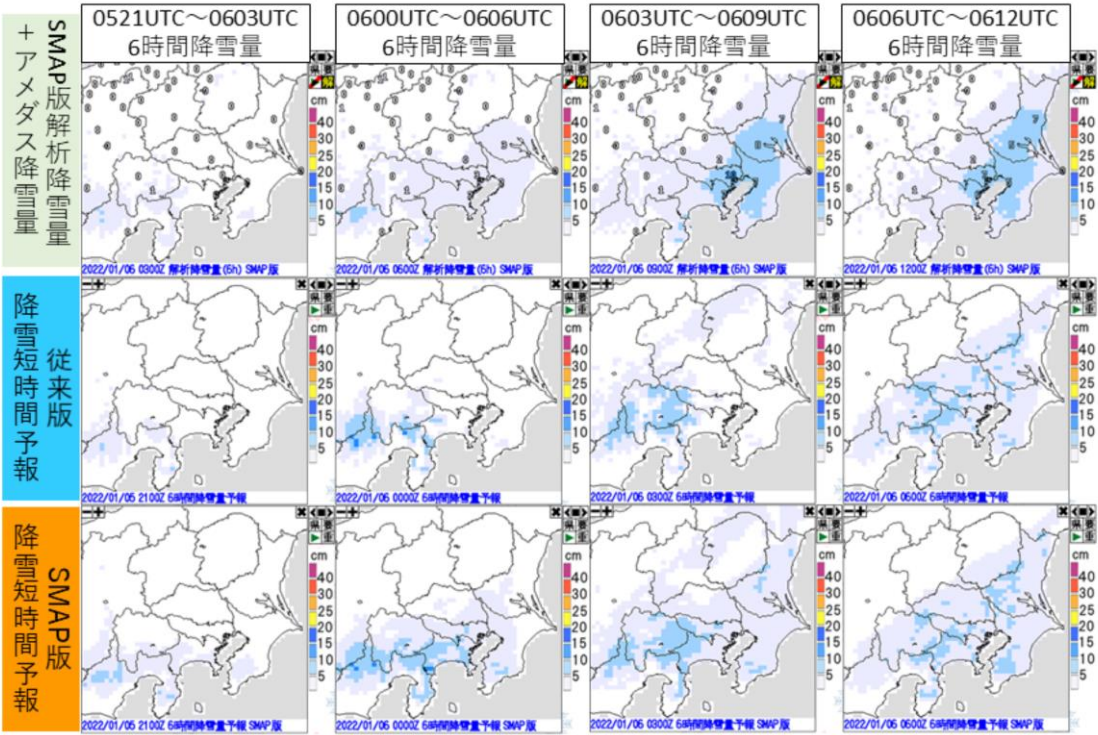
28

## 【2022年10月に適用した内容との関係】

- ・ 内陸部では、降水量バイアス補正手法の改良により、過大になった地域が見られる。
- ・ 日本海側の沿岸部では、統計補正の対象を「降雪量」から「新雪の深さ」へ変更したことや、降水量バイアス補正手法の改良などが寄与し、従来版よりも降雪量は増えたが、まだ実況と比べて過小となっている。気温が実況よりも高めに予測されていたことが要因と見られる。

# 2022年1月6日 南岸低気圧による関東の降雪

従来版では首都圏で降雪量を計算し始めるのが遅かったが、SMAP版では解析降雪量とほぼ同じタイミングで降雪量を計算することができた。

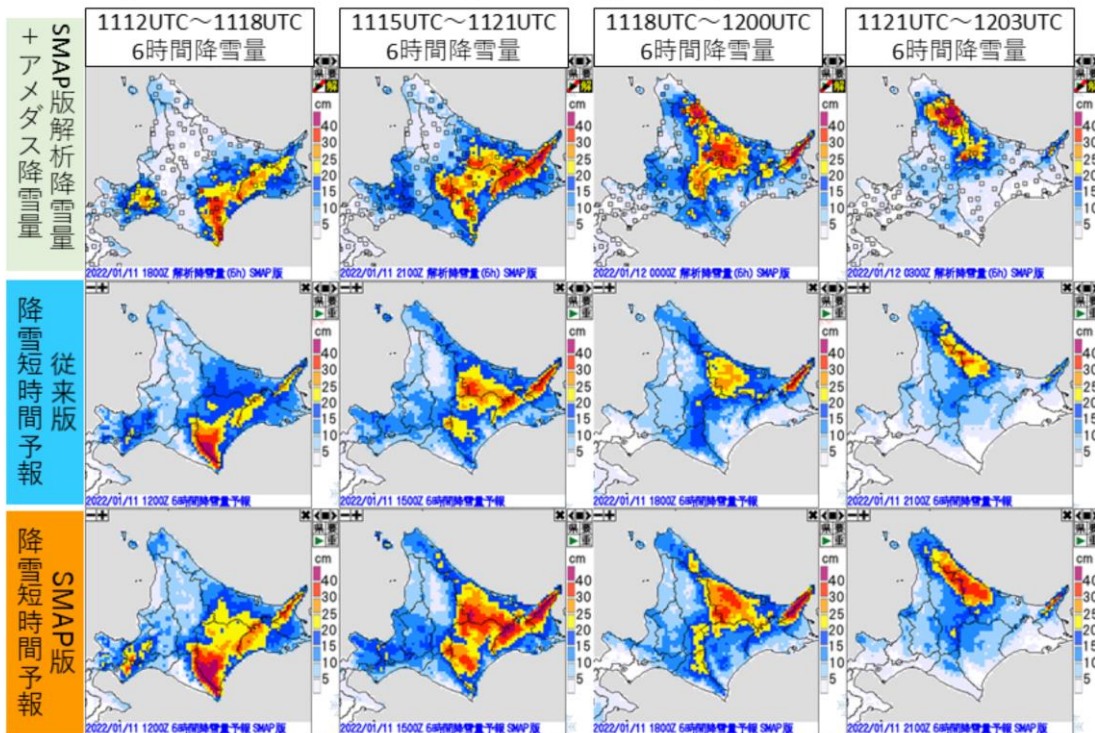


## 【2022年10月に適用した内容との関係】

- ・ 気温が0~1°C付近の降雪イベントで、従来版では積もった雪が融解して降雪量が計算されにくい状況だった。統計補正の対象を「降雪量」から「新雪の深さ」へ変更したこと、積雪変質モデルSMAPの導入などが改善に寄与したと見られる。

## 2022年1月11-12日 南岸低気圧による北海道の大雪

南岸低気圧による事例のため従来版の精度が比較的良かったが、やや足りていない地域もあった。それらの地域はSMAP版で改善した。



30

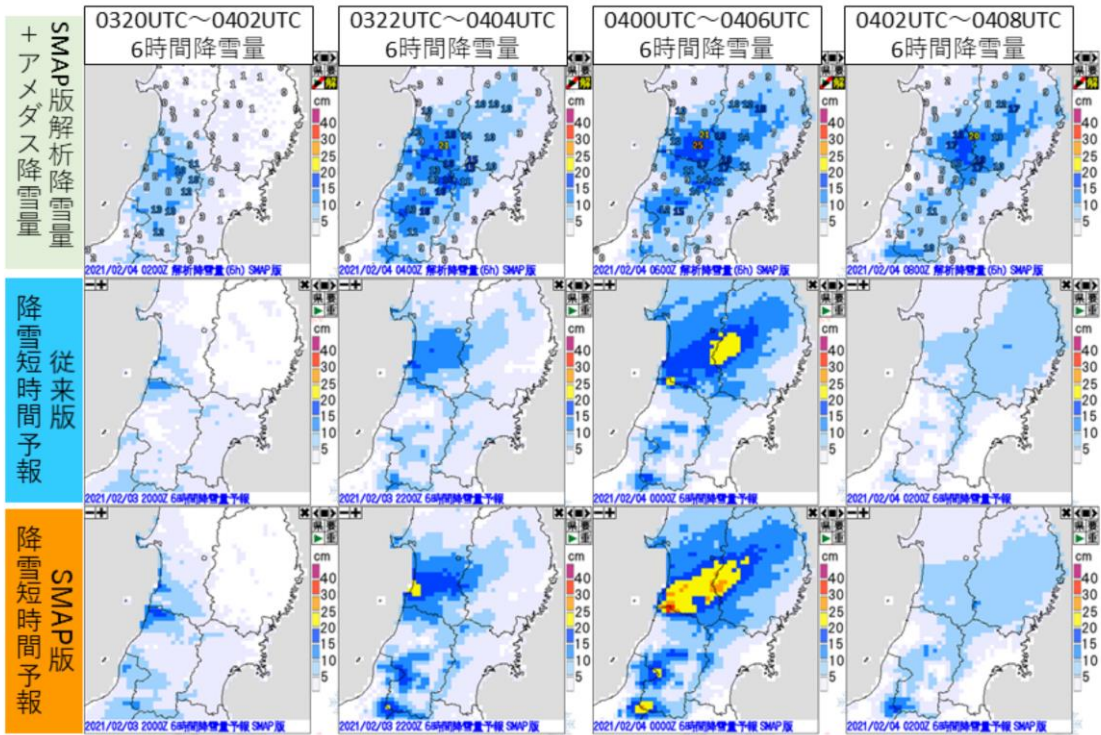
### 【2022年10月に適用した内容との関係】

- ・積雪変質モデルSMAPの導入や、降水量バイアス補正手法の改良により、大雪の表現が改善したと見られる。



# 2021年2月4日 メソ低気圧による東北地方の大雪

従来版でも降雪の強まりは予測できていたが、やや過小で弱まるのも早い。SMAP版ではピーク時の降雪量は積雪計に近づいたが、大雪の地域がやや広い。



## 【2022年10月に適用した内容との関係】

- ・積雪変質モデルSMAPの導入や、降水量バイアス補正手法の改良により、降雪量のピーク値は観測に近づいたと見られるが、大雪の地域を広げすぎている。



## 4. 降雪短時間予報の予報特性と 利用上の留意点

---

# 降雪短時間予報の予報特性

## 降雪短時間予報の予報特性

- ✓ 降雪の分布や多寡（局地的なものは除く）は概ね予想できていることが多い。
- ✓ 総観規模擾乱やJPCZなど、背の高い雲の降雪では量的予想の精度は比較的良い。
- ✓ 直近の解析積雪深、レーダー観測が反映された降水短時間予報、アメダスが同化されたLFMを用いているため、基本的には最新の予報ほど精度がよい。

## 以下の気象条件の場合には予測精度が低下する可能性

- **風が強いとき。**  
積雪変質モデルは雪が風に流される効果を考慮していない。
- **地上付近の気温が1～3度前後。**  
わずかな気温の差で、降水が雪になるか雨になるかが変わる。
- **地上よりも少し高い位置（数百～千メートル程度）に暖かい空気が流入している場合。**  
上空の暖かい空気のわずかな違いで雪になるか雨になるかが変わる。  
本プロダクトで用いるのは地上気温のみ。
- **LFMや降水短時間予報などの入力値の精度が低い場合。**  
背の低い雪雲（弱い冬型など）による降雪は、特にレーダーから離れた地域でとらえ難く、降水短時間予報の初期値の精度が低下することがある。

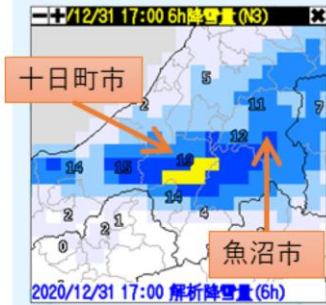
## 利用上の留意点

- ✓ 1時間ごとに更新されるため、最新の情報を利用する。
- ✓ 5 km平均値のため、格子ひとつひとつの値を直接的に利用するのではなく、積雪の深さと降雪量の分布を把握するための資料として利用する。
- ✓ 具体的な場所をピンポイントで指しながら「何センチ降っています・降る予報です」と数値を用いることは控え、「〇〇地方を中心に積雪が増えています・増える予報です」などの表現で示す。
- ✓ 大雪のおそれがある場合は、気象情報や警報・注意報等が発表されるため、最新の気象情報等を併せて利用する。

# 利用例

2020年12月31日夜に関越道（六日町IC-長岡IC）で  
予防的な通行止め（集中除雪）が行われた事例

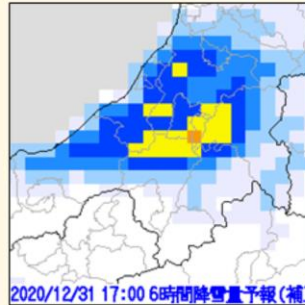
17時までの6時間降雪量  
（解析降雪量+アメダス）



新潟県中越地方で、  
6時間に20cm前後  
の降雪を観測。

予測

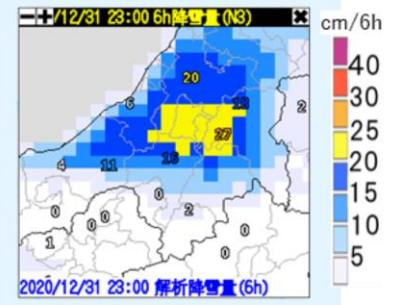
17時発表の6時間降雪量  
予測（降雪短時間予報）



さらに23時にかけて、  
中越地方では大雪が  
続く予想。

結果

23時までの6時間降雪量  
（解析降雪量+アメダス）



17時発表の予想に  
近い、20cmを超え  
る降雪を観測。

- ✓ 降雪短時間予報を確認することで、大雪が続く可能性があることを把握できた事例。
- ✓ 迂回路の検討や、除雪の判断に活用可能。

35

降雪短時間予報の利用例を、2020年12月31日の新潟県上越地方の大雪事例で示す。この例では、31日17時までにまとまった降雪があり、17時初期値の降雪短時間予報を確認すると、引き続き夜遅くまで大雪が続くことが予測されている。実況では、23時までの6時間で20cmを超える降雪となり、降雪短時間予報で計算された降雪量とほぼ同等の値となった。



## まとめ

令和3(2021)年11月から「降雪短時間予報」の提供を開始

- ✓ 6時間先まで1時間ごとの「積雪の深さ」と「降雪量」を約5km四方の格子で面的に予測するもので、1時間ごとに更新する。
- ✓ 気象庁ホームページでは、解析積雪深・解析降雪量と共に「今後の雪」として提供。

令和4(2022)年10月に積雪変質モデルSMAPを導入し、各種補正手法を改良

- ✓ 課題としていた大雪時の過小傾向が大きく改善。
- ✓ 弱い雪から大雪にかけて、全ての階級で予測精度が改善。

# 参考URL、文献

気象庁ホームページ「今後の雪」（解析積雪深・解析降雪量、降雪短時間予報）  
<https://www.jma.go.jp/bosai/snow/>

Aoki, T., Kuchiki, K., Niwano, M., Kodama, Y., Hosaka, M., and Tanaka, T. (2011): Physically based snow albedo model for calculating broadband albedos and the solar heating profile in snowpack for general circulation models. *J. Geophys. Res.*, 116, D11114, <https://doi.org/10.1029/2010JD015507>.

気象庁 (2017): 地球温暖化予測情報 第9巻. A15, <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol9/pdf/all.pdf>

気象庁予報部 (2018): ガイダンスの解説, 数値予報課報告・別冊. 64, 119-131, [https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwpreport/64/No64\\_all.pdf](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwpreport/64/No64_all.pdf)

Niwano, M., Aoki, T., Kuchiki, K., Hosaka, M., and Kodama, Y. (2012): Snow Metamorphism and Albedo Process (SMAP) model for climate studies: Model validation using meteorological and snow impurity data measured at Sapporo, Japan. *J. Geophys. Res.*, 117, F03008, <https://doi.org/10.1029/2011JF002239>.

Niwano, M., Aoki, T., Kuchiki, K., Hosaka, M., Kodama, Y., Yamaguchi, S., Motoyoshi, H., and Iwata, Y. (2014): Evaluation of updated physical snowpack model SMAP. *Bull. Glaciol. Res.*, 32, 65-78,

Niwano, M., Aoki, T., Hashimoto, A., Matoba, S., Yamaguchi, S., Tanikawa, T., Fujita, K., Tsushima, A., Iizuka, Y., Shimada, R., and Hori, M. (2018): NHM-SMAP: spatially and temporally high-resolution nonhydrostatic atmospheric model coupled with detailed snow process model for Greenland Ice Sheet. *The Cryosphere*, 12, 635-655, <https://doi.org/10.5194/tc-12-635-2018>.

庭野匡史, 青木輝夫 (2021): 気象研究所における積雪モデリング研究. 大気化学研究, 44, 044A03, [https://jpsac.org/wordpress/wp-content/uploads/2021/02/AACR\\_vol44.pdf](https://jpsac.org/wordpress/wp-content/uploads/2021/02/AACR_vol44.pdf)

庭野匡史, 青木輝夫, 橋本明弘, 山口悟, 谷川朋範, 保坂征宏 (2017): 2015-2016冬期の新潟県アメダスへの積雪変質モデルSMAPの適用. 雪氷, 79(6), 525-538.

山崎剛・櫻岡崇・中村亘・近藤純正 (1991): 積雪の変成過程について: Iモデル. 雪氷, 53, 115-123.