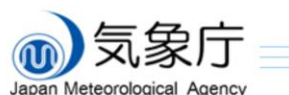


令和4年度 予報技術研修テキスト

解析積雪深・解析降雪量について (気象研究所積雪変質モデルの導入)

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

2019年11月 初版

2019年12月 文言等の微修正

2023年3月 令和4年度版に更新

・積雪変質モデルSMAPの導入に伴い、積雪変質モデルの概要および精度検証結果を更新

・その他記載事項の軽微な修正

目次

1. 解析積雪深・解析降雪量の技術
2. 解析積雪深・解析降雪量の精度評価
3. 事例紹介
4. 利用上の留意点

1. 解析積雪深・解析降雪量の技術

経緯

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

- 平成30(2018)年1月 首都圏の大雪 (東京23cm、横浜18cm、前橋29cm など)
- 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)

道路管理者の通行規制や除雪体制、事業者や国民が利用する交通経路の判断の支援等を目的とし、積雪の深さと降雪量の面的な分布情報を提供

- ✓ 令和元(2019)年11月「**解析積雪深・解析降雪量**」の提供開始
- ✓ 令和3(2021)年11月「降雪短時間予報」の提供開始
※ 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 精度向上のため**積雪変質モデル (SMAP)** を導入

積雪変質モデルSMAP Snow Metamorphism and Albedo Process

- 気象研究所で開発、実証研究が重ねられて信頼性が確立し、世界的に科学的評価を受けているモデル
- SMAPの導入により、積雪深・降雪量の推定精度の向上、将来的なプロダクトの高度化 (危険度分布・指数、なだれ、暴風雪等への活用) が期待されるほか、研究所で得られる最新の研究開発成果を速やかに反映させる体制が確立

4

本テキストでは「解析積雪深・解析降雪量」の概要や作成手法、精度について説明するとともに、令和4(2022)年10月に実施した積雪変質モデルSMAPの導入について、モデルの概要や導入前後でのプロダクトの違いについて説明する。

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>

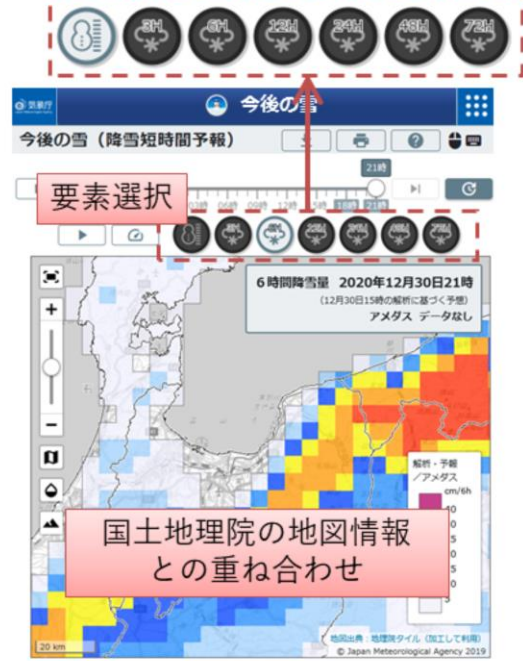
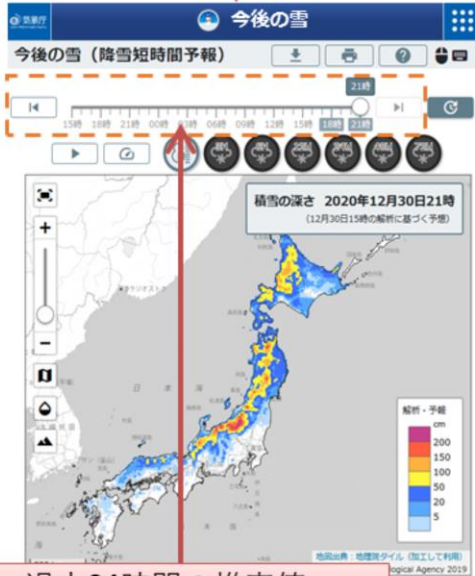
解析積雪深・解析降雪量、降雪短時間予報の提供開始については以下を参照。

- 気象庁HP 令和元年報道発表資料 > 新しい雪の情報の提供を開始します
https://www.jma.go.jp/jma/press/1911/13a/20191113_snowanalysis.html
- 気象庁HP 令和3年報道発表資料 > 積雪の深さと降雪量の6時間先までの予報を開始します
https://www.jma.go.jp/jma/press/2111/04a/211104_kousetsu.html

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)



URL

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



解析積雪深の作成方法

- ① 積雪変質モデルで降水量や気温などから面的な積雪の深さを推定。
- ② モデルで推定した積雪の深さ（以後、モデル推定値）をアメダス観測値の積雪の深さで補正。
- ③ 1km格子を5km格子に平均化。

解析積雪深のプロダクト作成の流れ



7

解析積雪深は、以下の手順で作成している。

- ①積雪変質モデルで降水量や気温などから約1km格子の面的な積雪の深さを推定
- ②モデルで推定した積雪の深さ（以後、モデル推定値）をアメダス観測値の積雪の深さで補正
- ③5km平均化

【積雪変質モデル】

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。

【初期値】

前時刻の積雪変質モデルが出力する物理量を前時刻の観測値補正の結果に応じて修正して初期値とする。

【入力データ】

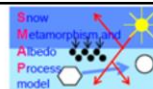
降水量：解析雨量（欠測格子は降水短時間予報）

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、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。

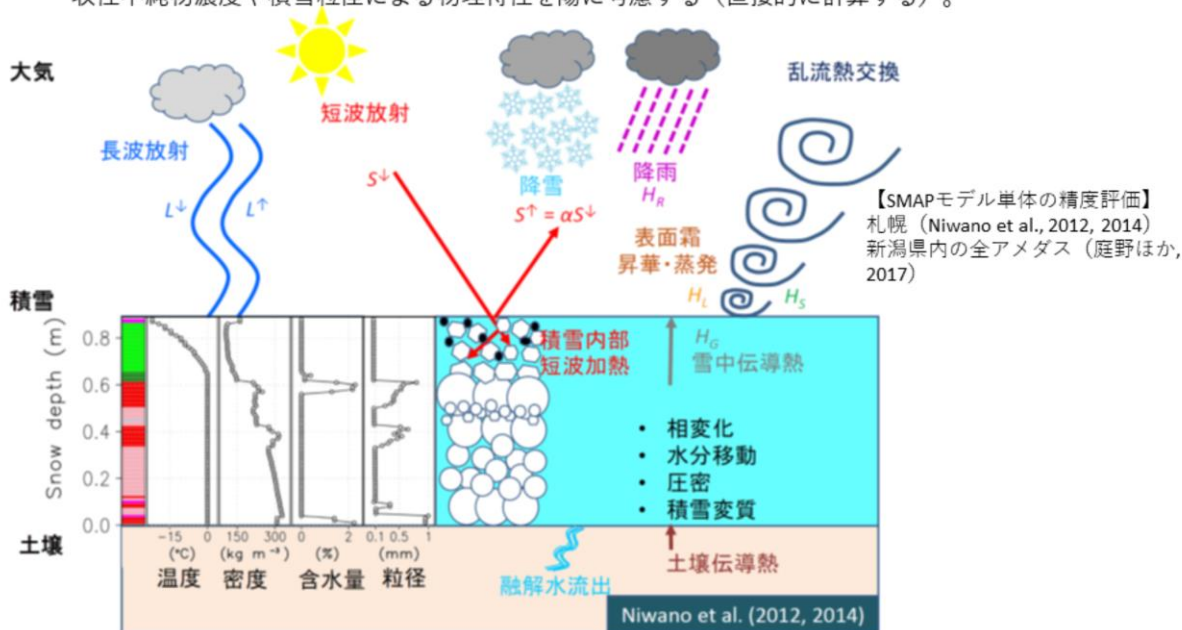
一方で、積雪変質モデルは雪が風で流される効果などが考慮されておらず、1km格子という細かさで提供するのは適当ではないため最後に5km平均化する。

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できるだけ詳細に考慮。PBSAM (Aoki et al., 2011) *を内部に組み込み。
 (*) 気象研究所で開発した積雪アルbedo物理モデル。積雪アルbedo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)。



8

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bedo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bedo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bedo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bedo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bedo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。

積雪変質モデルの基本仕様の比較

	気象研究所積雪変質モデル (SMAP) ※ベースモデルはNiwano et al.(2018)	従来積雪変質モデル ※山崎ら (1991) 等を参考に開発
水平分解能	1km格子	1km格子
積雪層	最大99層	最大12層
土壌層	土壌から積雪を常時3 W/m ² で加熱*	3層
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)	積雪密度を用いたパラメタリゼーションにより算出 (近藤ら, 1988、藤本ら, 2007)
初期値	前時刻のモデル出力値	前時刻のモデル出力値
入力値	降水量 : 解析雨量/降水短時間予報 気温/風速/湿度/気圧 : LFM地上面 下向き放射量 : LFM地上面	降水量 : 解析雨量/降水短時間予報 気温/風速/湿度/気圧 : LFM地上面 下向き放射量 : LFM (可降水量、雲量) ・ 衛星画像 (バンド3,7,13) から算出 最下部の地中温度 : 平年値
出力値	積雪層 : 厚さ・密度・温度・粒径・含水量など アルベド (短波長、可視、近赤外域) など	積雪層 : 重量・密度・温度・粒径・含水量など 土壌の温度・含水量

※SMAPの下部境界条件

- ・ 積雪内部の層数をできるだけ確保するため、土壌の計算は行わない
- ・ 札幌における観測結果に基づき、土壌から積雪を常時3 W/m² で加熱

9

SMAPモデルの仕様を示すとともに、山崎ら (1991) 等を参考に開発した変更前に使用していた積雪変質モデル (従来モデルとする) との違いを以下に示す。

【積雪層】

SMAPモデルでは、積雪層を従来モデルの最大12層から最大99層に変更した。どちらのモデルでも積雪層は降雪を計算するたびに1層追加する。積雪層数が上限を超えた場合は、密度差が小さく、粒径などから判定した雪質に近い隣接する層を優先して合成するほか、隣接する層の層厚比が大きくなりすぎた場合にも合成を行う。

【土壌層】

従来モデルでは土壌層を3層に設定していた。一方、土壌からの加熱量は積雪表面での短波放射や顕熱などによる加熱量と比べて影響が軽微であるため、SMAPモデルでは、積雪内部の層数をできるだけ確保するために土壌の計算は行わず、札幌における観測結果に基づいて常時3 W/m² で土壌から積雪を加熱することとした。

【アルベド計算】

従来モデルでは、積雪アルベドの算出に近藤ら (1988)、藤本ら (2007) を参考に積雪密度によるパラメタリゼーションを用いていたが、SMAPモデルではPBSAM (Aoki et al.,2011) により光吸収性不純物濃度や積雪粒径の効果を陽に考慮して積雪アルベドを計算。

【入力値】

入力要素に変更はないが、下向き短波・長波放射量については、従来モデルではLFMの可降水量・気温・雲量、衛星の輝度温度を組み合わせで計算していたところ、SMAPモデルの導入を機にLFMの下向き短波・長波放射量を直接利用するよう変更。

【出力値】

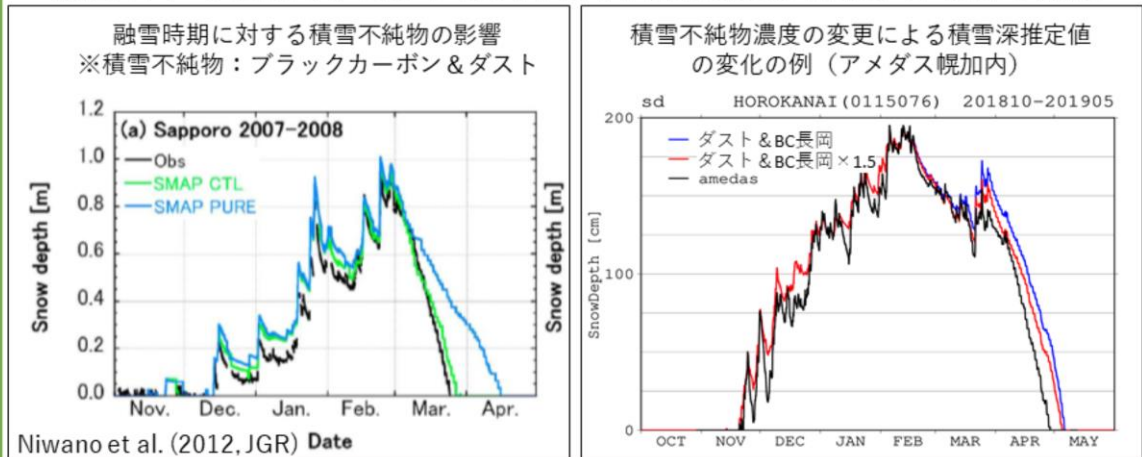
基本的に大きな違いはない。従来モデルで出力していた重量については、SMAPモデルでは積雪層の厚さと密度から計算できるもの。積雪の深さは、層毎の深さ (厚さを出力していない従来モデルでは(重量-含水量)/密度) を合計して求める。

SMAPモデルの設定

SMAPモデルはNHM-SMAP (Niwano et al., 2018) をベースとし、いくつかの積雪物理過程の設定について最適化。

PBSAMによる積雪不純物を考慮したアルベドの計算

アルベドの計算に積雪不純物を考慮することで融雪時期が早まる (左図) 代表値として積雪不純物濃度に長岡での観測結果を与えるが、融雪に遅れ → 融雪を早めるため、2月中旬以降は不純物濃度を増加させるよう設定



10

SMAPモデルはNHM-SMAP (Niwano et al., 2018) をベースとし、圧縮粘性係数、熱伝導率、積雪不純物 (ダスト・ブラックカーボン) 濃度の設定についてSMAPモデルの出力と実況値との比較結果から調整を行った。

ここでは、PBSAMをコアモジュールとして組み込んだSMAPモデルの特徴の一つである、アルベド計算に積雪不純物を考慮する設定について説明する。

Niwano et al. (2012) では、2007-2009 冬期の札幌において積雪不純物量をSMAPに入力する場合としない場合で計算される融雪の時期がどの程度変わるのかを調べ、積雪不純物の存在によって融雪時期が早まることが示されている (左図)。

SMAP導入にあたっては、PBSAMを有効とするとともに積雪不純物を考慮する設定とし、積雪不純物濃度には長岡での観測結果 (Niwano et al., 2014、庭野ほか, 2017) を代表値として与えることとしたが、その場合でも融雪に遅れが見られた。この要因として、代表値として与えた積雪不純物濃度が場所によっては十分でない可能性が考えられるため、融雪を早めるために2月中旬以降の不純物濃度を増加させる設定とした。

右図は、積雪不純物を増加させることにより融雪が早まることを例として示したものである。

SMAPモデルの設定

新雪密度の推定や雨雪判別については、降雪量の推定精度が良い従来モデルの手法をSMAPモデルでも踏襲。

新雪の雪水比・雨雪判別

降雪量は、降水量及び地上気温、地上湿度、地上気圧から推定。
気温と雪水比の関係は概ね次のとおり。

気温	雪水比 (=降雪深[cm]/降水量[mm])
$t \leq -6^{\circ}\text{C}$	約 2.0
$-6^{\circ}\text{C} < t \leq -3^{\circ}\text{C}$	約 1.8
$-3^{\circ}\text{C} < t < -1^{\circ}\text{C}$	約 1.5
$-1^{\circ}\text{C} \leq t \leq 0^{\circ}\text{C}$	約 1.2
$0^{\circ}\text{C} < t$	約 1.1

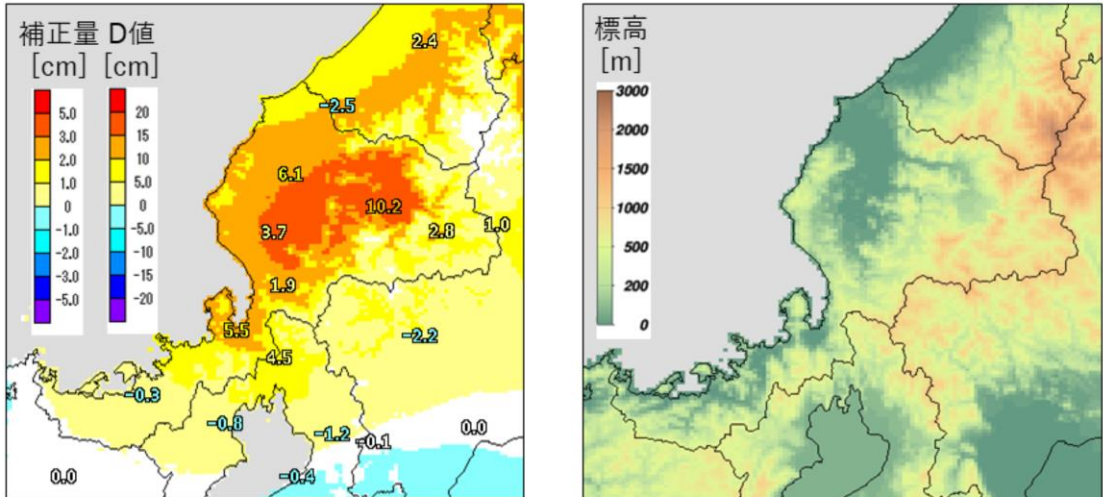
※アメダスによる積雪深、降水量から算定

観測値補正の概要

アメダス観測値とモデル推定値の積雪の深さを距離と標高差で重み付け平均する（最適内挿法）。

1. アメダス観測値とモデル推定値の積雪の深さの差（D値）を求める。
2. 補正対象格子と周囲のアメダスとの類似度を距離と標高差から求める。
3. 1と2から補正量を求め、補正対象格子の積雪の深さに加える。

※ 解析手法についてはメソ数値予報システムの解析手法（気象庁予報部, 2015）を参考。



[左] 補正量と [右] 標高分布（平成30年2月7日14時。日本時間）
数字はアメダス観測値とモデル推定値の積雪の深さの差（D値）。単位はcm。

12

観測値補正は、アメダス観測値とモデル推定値の積雪の深さを距離と標高差で重み付け平均する（最適内挿法）。

解析手法については、メソ数値予報システムの解析手法（気象庁予報部, 2015）を参考にした。

具体的には、

- ①アメダス観測値とモデル推定値の積雪の深さの差（D値）を求める。
- ②補正を行う格子とアメダスとの類似度（重み）を、各地点ごとに距離と標高差から求める。
- ③①と②から補正量を求め、補正対象格子のモデル推定値に加える。

ある時刻のD値と補正量、標高分布を示す。

補正量を求めるのに格子と観測点との距離だけでなく標高差も用いているため、観測点との標高差が大きい山地などは、補正がほとんどされない。

なお、観測値補正の手法はSMAPモデルの導入前後で変更していない。

観測値補正の概要

最適内挿法は以下の式を解く。

$$d^a = d^b + \sum_k^N w_k \left(\frac{d_k^o - H_k(d^b)}{\Delta d} \right)$$

推定値と観測値との差 (Δd)

d^a : 解析値、 d^b : 推定値、 d_k^o : 観測点kの観測値、
 N : 補正に用いる観測点数、 w_k : 観測点kの重み、
 H_k : モデル格子から観測点への内挿処理

観測点ごとの重み (w_k) は以下の方程式から求める。

$$\sum_l^{N_i} \left(\mu_{kl}^b + \mu_{kl}^o \frac{\sigma_o^2}{\sigma_b^2} \right) w_{il} = \mu_{ik}^b, \sigma_o=4\text{cm}, \sigma_b=3\text{cm}$$

μ_{kl}^b : 観測点k、l間の推定値の誤差相関
 μ_{kl}^o : 観測点k、l間の観測値の誤差相関
 μ_{ik}^b : 格子点iと観測点kの推定値の誤差相関
 w_{il} : 格子点iに対する観測点lの重み
 N_i : 格子点iの補正に用いる観測点数
 σ_o : 観測誤差、 σ_b : 背景誤差

誤差相関 μ はBrasnett (1999) を参考にガウス型とした。←誤差相関が1に近いほど、格子と観測点の類似度が高い (観測点の重みが大きくなる)。

$$\mu_{kl} = \left(1 + \frac{r_{kl}}{L} \right) \exp \left(-\frac{r_{kl}}{L} \right) \exp \left(-\left[\frac{\Delta z_{kl}}{h} \right]^2 \right), L=25\text{km}, h=500\text{m}$$

r : 格子と観測点の距離
 Δz : 格子と観測点の標高差

水平方向の誤差相関 鉛直方向の誤差相関

- モデル格子から観測点への内挿処理 (H_k) は、4点線形内挿。
- 補正に用いる観測点は、格子から100km以内。
- 観測同士の誤差相関はないと仮定 ($k \neq l$ のとき、 $\mu_{kl}^o = 0$)
- 品質管理として、以下の条件の観測値は用いない

1. $d_k^o > 10\text{m}$
2. $\Delta d > 25\text{cm} (= \gamma_{tol} \sqrt{\sigma_o^2 + \sigma_b^2}, \gamma_{tol}=5)$
3. 気温が閾値(6.5°C)以上で積雪0cmからの降雪がある場合

13

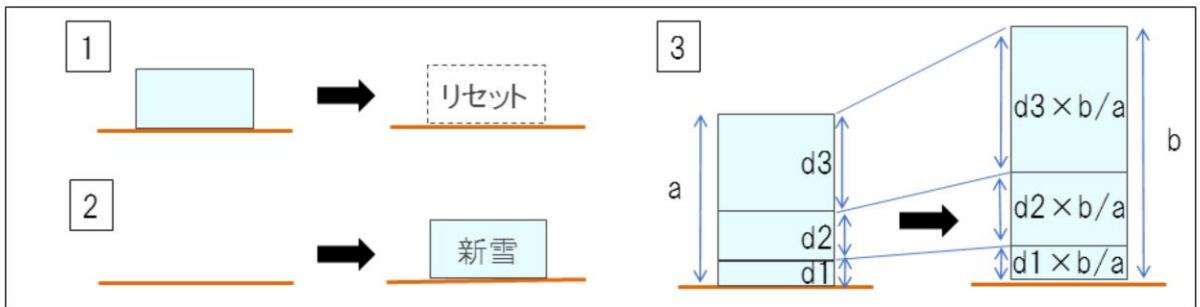
観測値補正の詳細な式などを示す。
 パラメータはいくつかの実験結果から決定した。

品質管理の条件3については、測定誤差等による観測積雪深の増加により無降雪時に解析積雪深が増加する事を防ぐために、2021年10月に追加した。

積雪変質モデルの積雪層修正

観測値補正の結果に応じて、積雪変質モデルの積雪層の物理量を修正する。

1. 補正後=0cm
積雪層の全ての物理量をリセット。
2. 補正前=0cm、補正後>0cm
新雪(乾き雪)を追加。密度は気温から推定。
3. 補正前>0cm、補正後>0cm
各層の厚さを $\left(\frac{\text{補正後の積雪}}{\text{補正前の積雪}}\right)$ 倍となるように修正。
各層の厚さに応じて重量と含水量を修正、それ以外の物理量は修正なし。



14

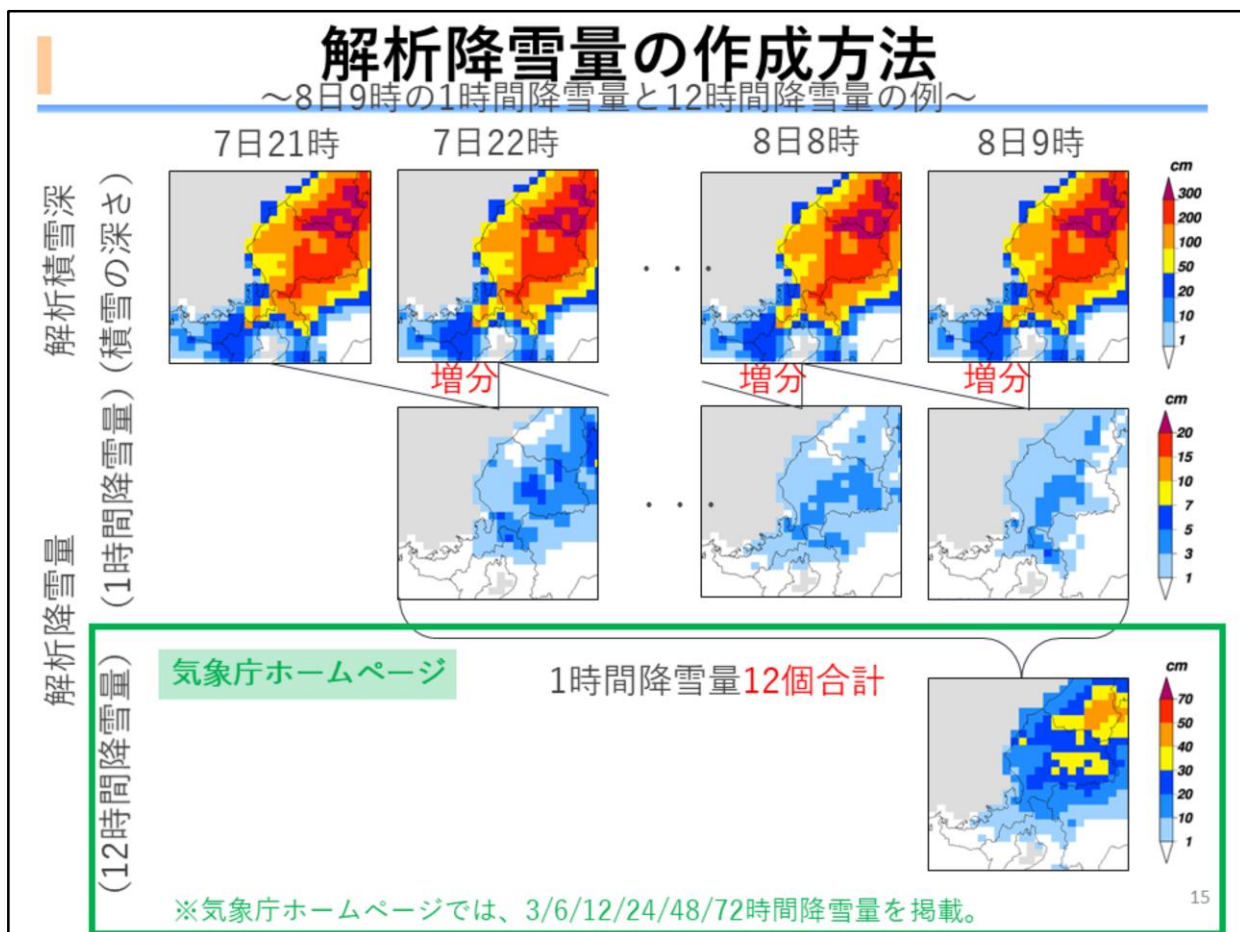
積雪変質モデルは前時刻の結果を初期値とするため、次時刻の計算に向けて、観測値補正の結果に応じて積雪変質モデルの積雪層の物理量を修正する。

積雪層修正は、格子ごとに条件に合った処理を行う。

- ①補正後=0cmの場合、積雪層の全ての物理量を雪がない状態にリセットする。
- ②補正前=0cm、補正後>0cmの場合、補正後の積雪の深さの新雪を追加する。新雪は乾き雪(含水量=0)を仮定し、密度は気温から推定する。
- ③補正前>0cm、補正後>0cmの場合、各層の厚さを $\left(\frac{\text{補正後の積雪}}{\text{補正前の積雪}}\right)$ 倍となるように修正する。それに応じて重量と含水量を修正し、それ以外の物理量は修正しない。

解析降雪量の作成方法

～8日9時の1時間降雪量と12時間降雪量の例～



解析降雪量の作成方法を、8日9時の1時間降雪量と12時間降雪量の例で示す。

1時間降雪量は、現在と1時間前の解析積雪深から増分を求める。
現在の気象情報などに記述する降雪量がアメダス積雪計の積雪深差から求めているため、降雪量の算出方法を統一した。

12時間降雪量は、1時間降雪量を12個合計して求める。現在と12時間前の解析積雪深から求めた増分ではない。

気象庁ホームページの「今後の雪」ページ (<https://www.jma.go.jp/bosai/snow/>) に掲載している解析降雪量は3/6/12/24/48/72時間降雪量である。

2. 解析積雪深・解析降雪量の精度評価

※変更前：従来モデルによる解析積雪深・解析降雪量

変更後：SMAPを導入した解析積雪深・解析降雪量（令和4(2022)年10月～）

検証に用いたデータ

検証期間

2017/18年～2021/22年 の 10月～5月

検証に用いた観測値

気象庁以外の機関（庁外機関）の積雪計の観測値

※気象庁が収集と品質管理を実施。

※毎時データのある地点を抽出。

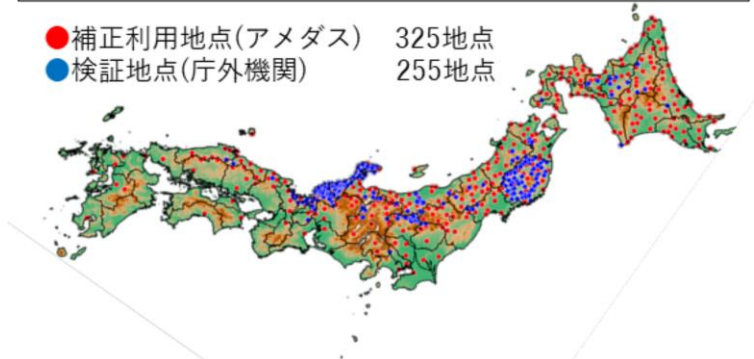
検証要素

積雪の深さ（毎時）、12時間降雪量（00,12時:協定世界時）

※観測値と比較する値は、観測点が含まれる格子の値。

補正に使用したアメダスと検証に利用した観測点

- 補正利用地点(アメダス) 325地点
- 検証地点(庁外機関) 255地点



17

SMAPを導入した解析積雪深・解析降雪量の検証結果を示す。

検証期間は、2017/18年～2021/22年の10月～5月である。

検証に用いたデータは、気象庁以外の機関の積雪計の観測値である。

気象庁以外の機関の観測値は観測整備計画課が収集と品質管理を実施しており、そこから毎時データのある地点のものを抽出した。

また、品質管理で取りこぼされた異常値を除外するため、気温が閾値(6.5℃)以上で積雪0cmから積雪深が観測されたデータを除外した。

検証に用いた観測点の場所は、図に青丸で示している。参考として、補正に利用したアメダスも赤丸で示している。

検証要素は、12時間降雪量と積雪の深さである。

毎0、12時（協定世界時）の12時間降雪量を利用した。

観測値との比較する値は、観測点が含まれる格子の値である。

検証に用いた指標

- 回帰係数(a)

- 値の量的な一致度を評価。
- $y=ax$ の式のaで、相関回帰II型により以下の式で算出。

x : 観測値

y : 解析積雪深・解析降雪量

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i)^2}$$

- 相関係数(R)

- 値の類似度 (相関) を評価。

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}}$$

- 平均誤差 (ME)、平方根平均二乗誤差 (RMSE)

- ME : 予測値の実況値からの偏りの平均を評価。
- RMSE : 誤差の大きさ (絶対値) を評価。

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i) \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}$$

18

検証に用いた指標は次のとおり。

回帰係数：値の量的な一致度を評価するもの。

相関係数：値の類似度 (相関) を評価するもの。

平均誤差：予測値の実況値からの偏りを評価するもの。

平方根平均二乗誤差 (RMSE)：誤差の大きさ (絶対値) を評価するもの。

検証に用いた指標

- バイアスコア(BI)
 - 予報の偏りを示す指標。
 - 1より大きいほど予報頻度過大、1より小さいほど予報頻度過小

$$BI = \frac{FO+FX}{M} \quad (0 \leq BI)$$

		実況		計
		あり	なし	
予報	あり	FO	FX	FO+FX
	なし	XO	XX	XO+XX
計		M	X	N

分割表

- エクイタブルスレットスコア (ETS)
 - 出現頻度の低い現象の適中精度を評価する指標で、気候学的出現率の影響を緩和したもの。

$$ETS \equiv \frac{FO - S_f}{FO + FX + XO - S_f} \quad \left(-\frac{1}{3} \leq ETS \leq 1\right)$$

$$\text{ただし、} S_f = P_c(FO + FX), P_c = \frac{M}{N}$$

バイアスコア：予報の偏りを評価するもの。

エクイタブルスレットスコア：気候学的出現率の影響を緩和しつつ出現頻度の低い現象の適中精度を評価するもの。

検証結果

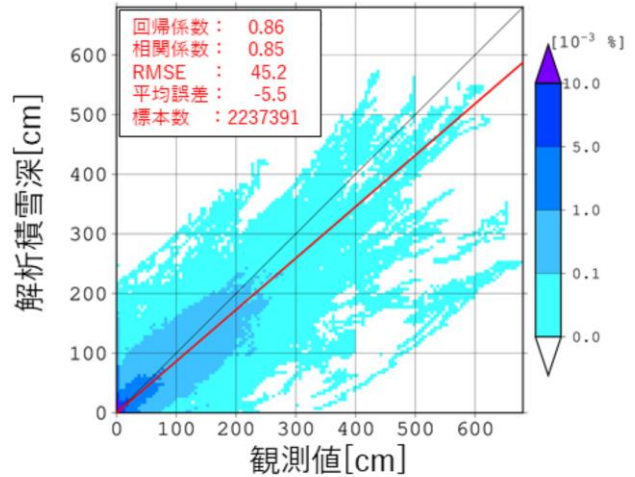
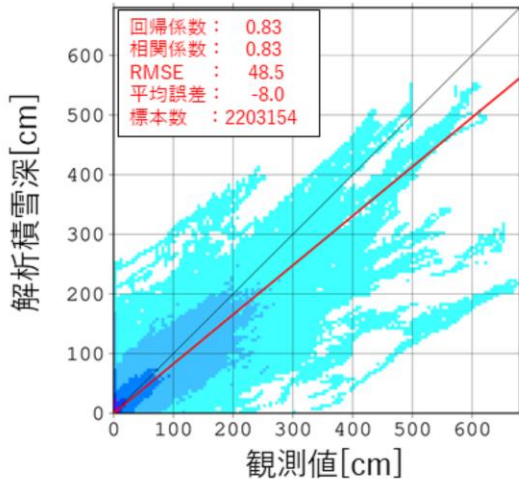
頻度分布図（積雪の深さ）

※観測値と解析積雪深がともに0cmの場合は除外。赤線は原点を通る回帰直線

変更前

※RMSE、MEの単位はcm

変更後



- ✓ 変更後は、回帰係数が1に近づいたことや平均誤差が0に近づいたことから過小傾向が改善し、RMSEが減少していることから誤差も小さくなっている。
- ✓ 相関係数が大きくなったことから変更後の解析値は観測値との相関が強くなっている。

20

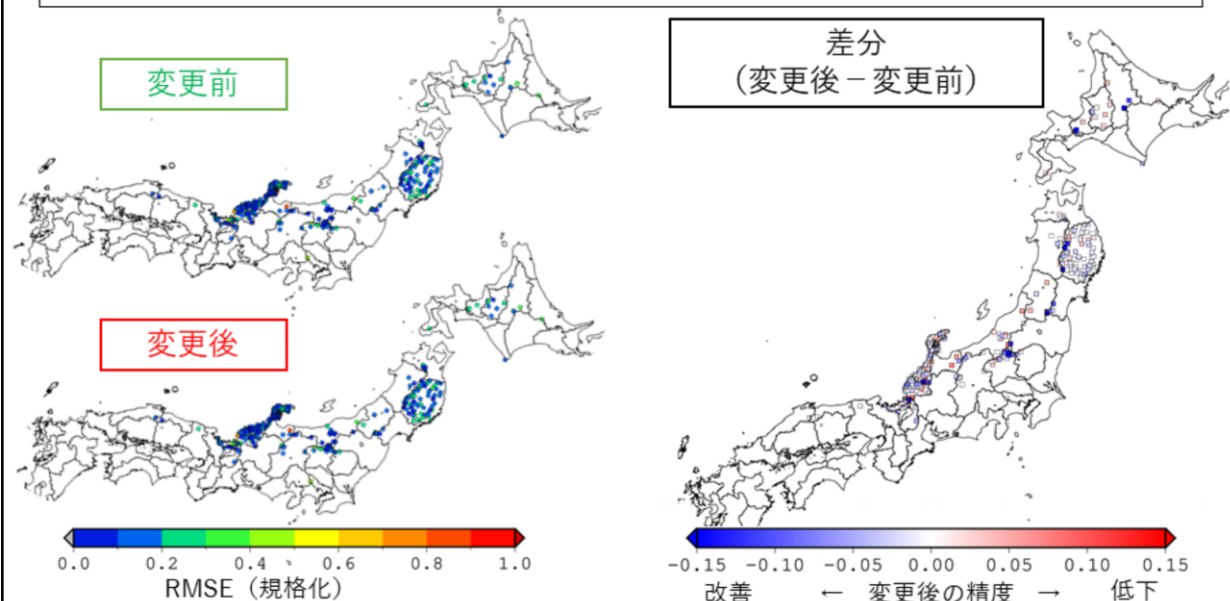
変更前と変更後の積雪の深さの頻度分布図を示す。

積雪の深さは、積もり始めからの誤差が積み重なり、変更前後とも観測値と比較して全体的にやや少なめの傾向が見られるが、回帰係数は0.83から0.86になり、平均誤差が-8.0cmから-5.5cmになったことから、過小傾向が改善している。また、変更後はRMSEが48.5cmから45.2cmに減少していることから誤差が小さくなっているほか、相関係数は大きくなったことから解析値と観測値の相関が強くなった。

検証結果

積雪深のRMSE(5日移動平均の最大値で規格化)の地点比較

※観測値と解析積雪深がともに0cmの場合は除外、事例数10以上



- ✓ 変更後の精度は、全255地点中142地点で改善。
- ✓ 標高の高い地域での積雪深の精度の改善が大きい。観測値補正による影響が大きい平野部での積雪深の精度は同程度。

21

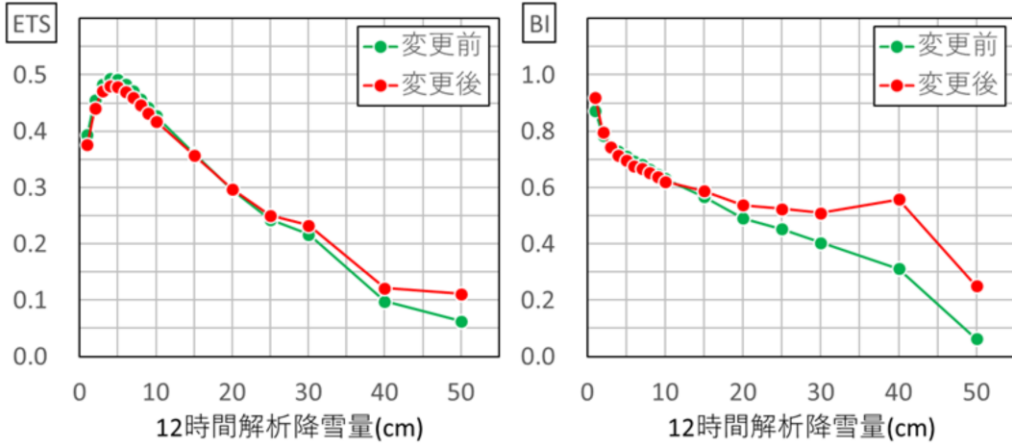
各検証地点（庁外機関）における、5日移動平均の最大値で規格化した積雪深のRMSEの分布図である。

RMSEの差分（変更後－変更前）を見ると、全255地点中142地点で変更後の精度が高くなり、109地点で変更後の精度が低下した。

特に、標高の高い地域にある観測地点において精度が改善していることがわかる。平野部はアメダス地点が多く、観測値補正による影響が大きいことから積雪深の精度は同程度である。

検証結果

12時間降雪量の精度ETS、頻度BI



- ✓ 12時間降雪量が10cm以下の降雪において若干精度が低くなるが、25cm以上では解析精度が改善する。
- ✓ 12時間降雪量が15cm以上では、降雪量が多くなるほど頻度に見られる過小傾向の改善が大きい。

22

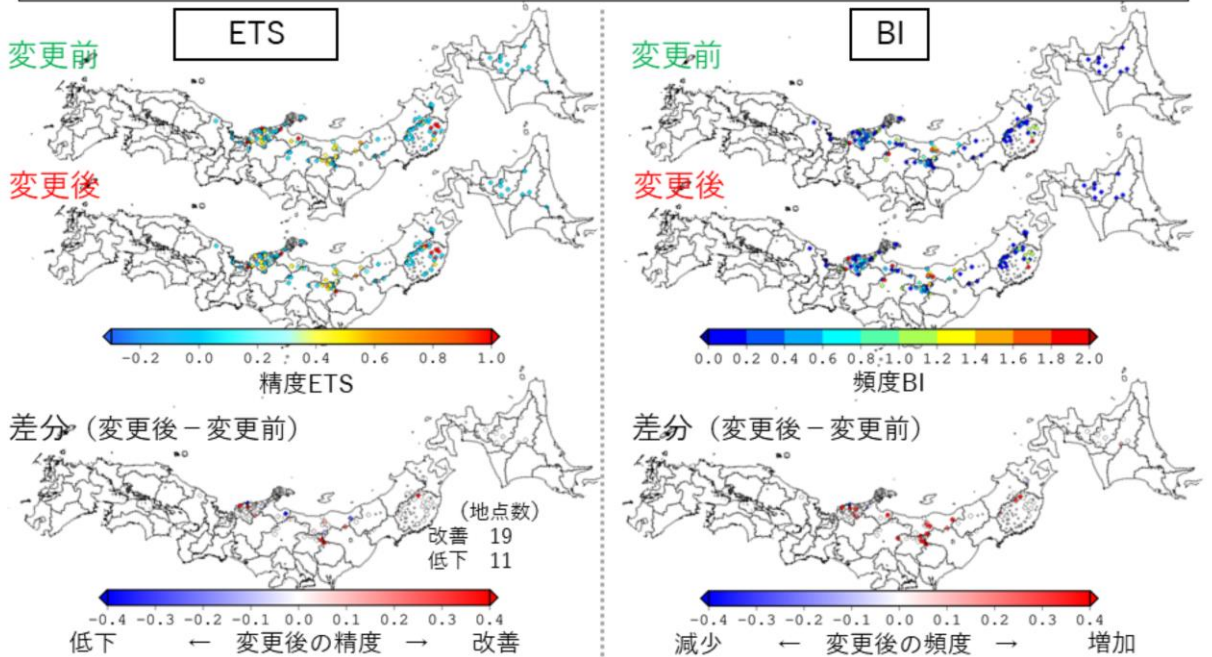
変更前と変更後の12時間降雪量の推定精度ETSおよび推定頻度BIを示す。

12時間降雪量が10cm以下の場合に変更後の精度がやや低くなるが、25cm以上では変更後の精度が改善している。

変更後の推定頻度については、12時間降雪量が15cm以上で過小傾向が改善し、降雪量が多くなる程その傾向は顕著である。

検証結果

12時間降雪量30cm以上の精度ETS、頻度BI ※事例数10以上



- ✓ 標高が高い地域、降雪量が多い地域を中心に頻度が増加し、精度が改善。
- ✓ 頻度過大により変更後の精度が低い地点が一部あるほかは、精度が低下した地点での差は小。²³

変更前と変更後の各検証地点（庁外機関）における12時間降雪量が30cm以上に対する頻度と精度の差分の分布図である。

精度の差分（変更後 - 変更前）をとったところ、変更後に精度が改善した地点数は19地点、低下した地点数は11地点であった。
特に、標高が高い地域、降雪量が多い地域を中心に頻度が増加し、精度が改善していることがわかる。また、頻度過大により変更後の精度が低い地点が一部あるほかは、変更後に精度が低下した地点の多くで差は小さい。

3. 事例紹介

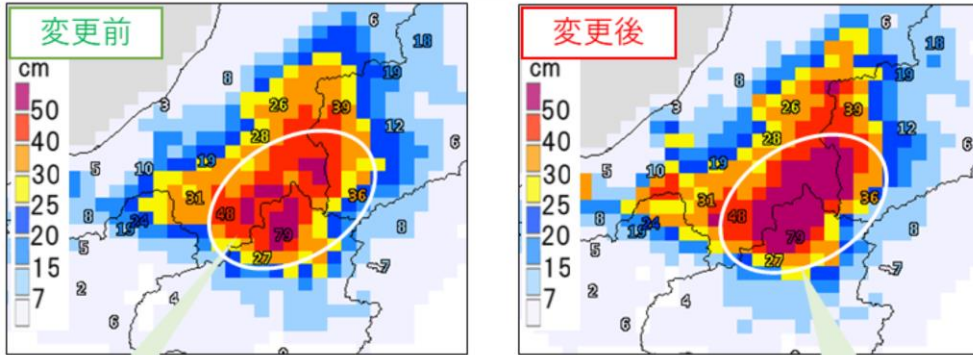
※変更前：従来モデルによる解析積雪深・解析降雪量

変更後：SMAPを導入した解析積雪深・解析降雪量（令和4(2022)年10月～）

SMAPを導入した解析積雪深・解析降雪量の事例を紹介する。
SMAP導入後の解析積雪深・解析降雪量を変更後、導入前の解析積雪深・解析降雪量を変更前とする。

解析積雪深・解析降雪量の事例（強い冬型）

日本付近は2020年12月14日から21日にかけて強い冬型の気圧配置となり、関東地方や北陸地方、東北地方の山地を中心に大雪（群馬県藤原では48・72時間降雪量が歴代全国1位）。関越自動車道で多数の車両の立ち往生など、多数の交通障害が発生。



変更前の12時間解析降雪量は、新潟県・群馬県・福島県の県境付近の標高が高い地域で実際より少なく解析されていると考えられる。

変更後は50cm以上の降雪量が解析される範囲が広がり、分布の表現が改善している。

SMAP導入による圧密計算の改善、積雪層数の増加、標高の高い地域での設定調整等により、多量の降雪時や当該地域の積雪深の推定精度が向上した結果と考えられる。

25

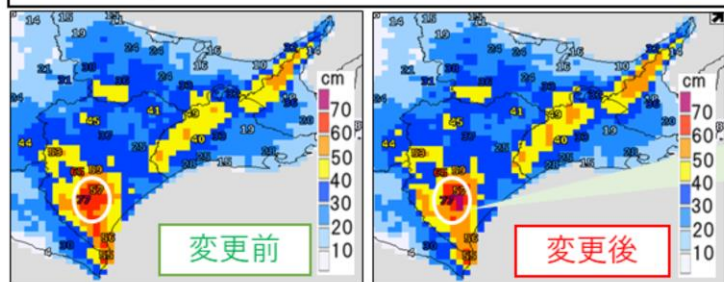
事例の詳細な気象状況については以下を参照のこと。

●強い冬型の気圧配置による大雪 令和2(2020)年12月14日～12月21日
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2020/20201224/20201224.html>

解析積雪深・解析降雪量の事例（発達した低気圧）

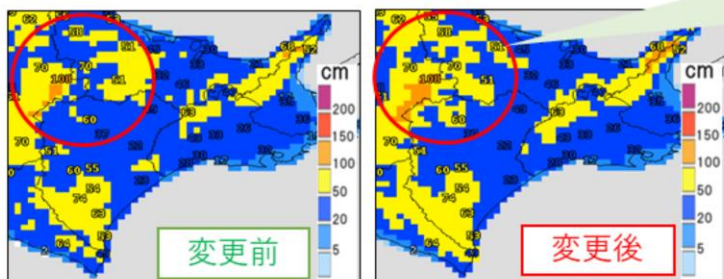
2022年1月11日夜から12日にかけて、日本海と三陸沖の低気圧が急速に発達しながら北海道地方を通過し、道東を中心に大雪となった。

※「帯広」では3・6・24・48時間降雪量で昨冬までの1位の値を更新。



24時間解析降雪量 2022年1月12日07時（日本時間）

変更後の24時間解析降雪量では、中札内（アメダス）付近でのピークが表現されている。



解析積雪深 2022年1月12日19時（日本時間）

※数字はアメダスの観測値

変更後の解析積雪深では、上川地方、十勝地方、紋別・北見地方における積雪分布が観測値に近づいた。

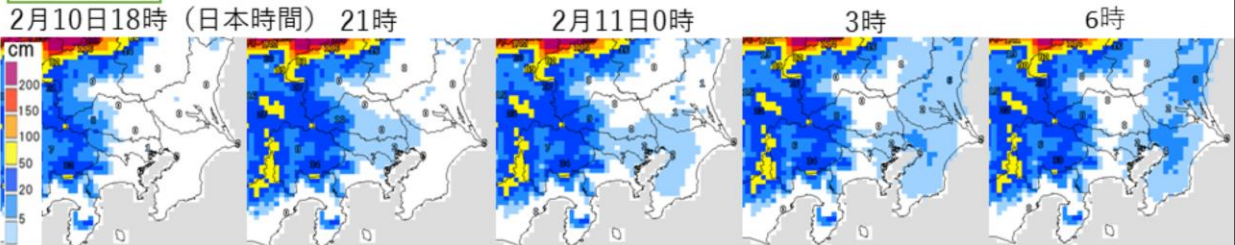
SMAP導入による圧密計算の改善や積雪層数の増加等により、多量の降雪があった場合の積雪深の推定精度が向上した結果と考えられる。

解析積雪深・解析降雪量の事例（南岸低気圧）

関東の南海上を進んだ低気圧の影響により、2022年2月10日から11日にかけて、関東甲信地方や静岡県などで降雪。

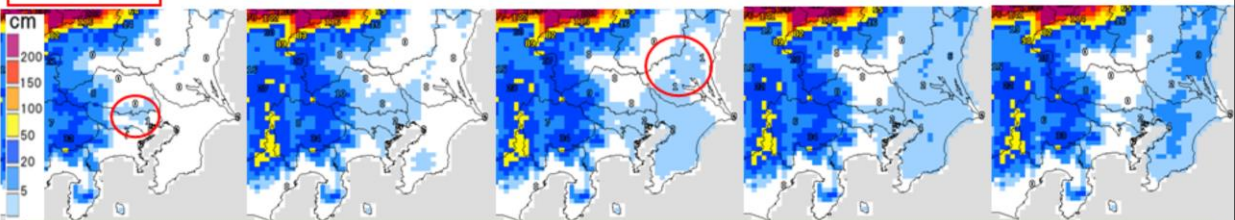
変更前

解析積雪深 ※数字はアメダスの観測値



変更前の解析積雪深は、実際よりも積雪を融解させ積雪域の表現が過小であったと考えられる。

変更後



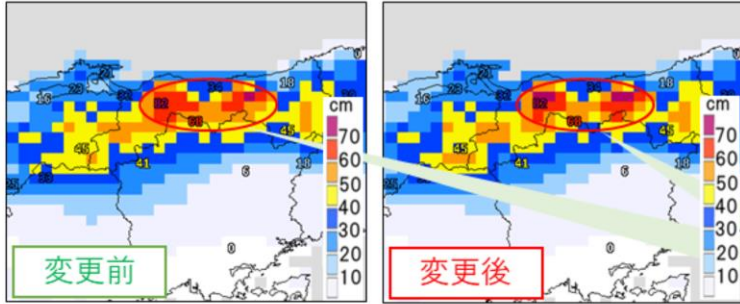
変更後の解析積雪深は、変更前に比べて積雪域を広めに表現しており、観測値に近づいた。

SMAP導入により、積雪の融解の計算等が改善した結果と考えられる。

27

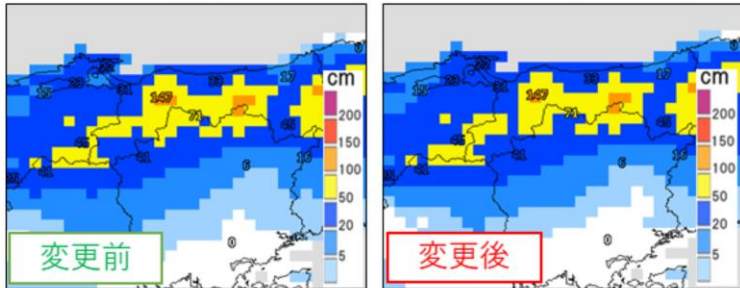
解析積雪深・解析降雪量の事例（JPCZ）

2020年12月30日から31日にかけてJPCZが山陰を指向。鳥取県大山では日降雪量71cmなど中国地方では大雪となった。



12時間解析降雪量 2020年12月31日03時（日本時間）

変更前後の12時間解析降雪量、解析積雪深の分布には大きな違いは見られないが、12時間降雪量の極大域の解析値が増加し、観測値に近づいた。



解析積雪深 2020年12月31日03時（日本時間）

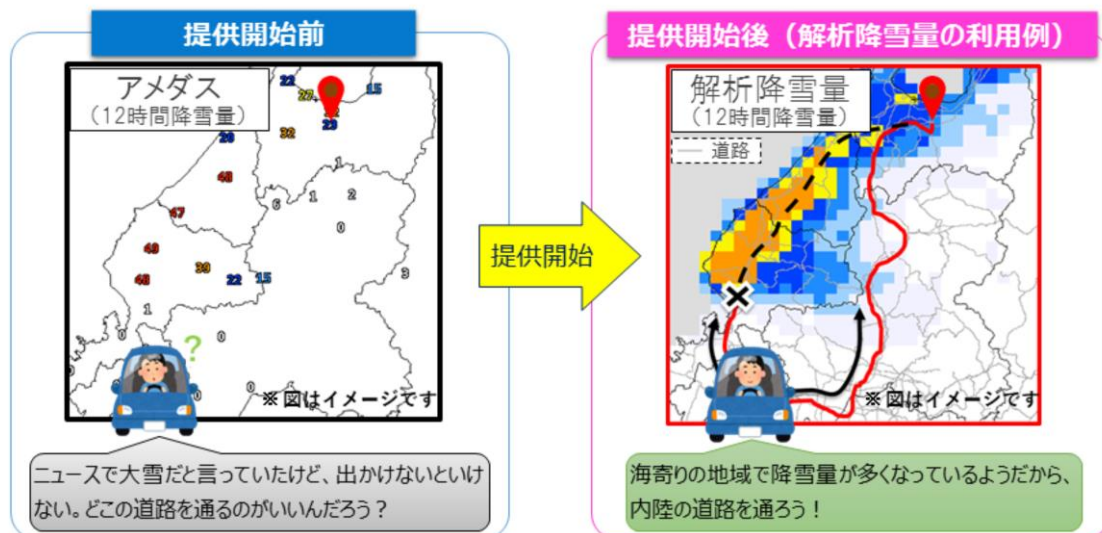
※数字はアメダスの観測値

SMAP導入による圧密計算等の改善や積雪層数の増加等によって、多量の降雪があった場合の積雪深の推定精度が向上した結果と考えられる。

4. 利用上の留意点

解析積雪深・解析降雪量の利用例

積雪・降雪が多くなっている地域を把握し、交通情報や観光地の情報と合わせることで、目的地までの経路の変更や除雪などの交通障害への備え、観光の計画変更などに活用。



30

解析積雪深・解析降雪量の利用例を示す。

アメダス（左図）だけでは観測点のない場所の降雪の状況がわからないが、解析積雪深・解析降雪量（右図）を用いることで積雪・降雪が多くなっている地域を把握することができる。

積雪・降雪の分布と、交通情報や観光地の情報を合わせることで、目的地までの経路の変更や除雪などの交通障害への備え、観光の計画変更などへの活用ができる。

解析積雪深・解析降雪量の特性

解析積雪深・解析降雪量の特性

- ✓ 積雪・降雪の分布、多寡の状況（局地的なものは除く）を概ね表現できる。
- ✓ 積雪の深さは、観測値と比較して全体的にやや少なめの傾向が見られる。
- ✓ 降雪量が多くなるほど解析頻度に過小傾向が見られる。

以下の気象条件の場合には解析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や解析雨量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、解析雨量の精度が低下することがある。

利用上の留意点

- ✓ 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。
- ✓ 解析値は、格子内の観測値と必ずしも一致しない。
- ✓ 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」と数値を用いることは控え、「○○地方を中心に積雪が増えています」などの表現で示す。

32

解析積雪深・解析降雪量を利用する上での留意点を示す。なお、この留意点はSMAPモデルの導入前後に共通するものである。

解析積雪深・解析降雪量のまとめ

令和元(2019)年11月から積雪の深さと降雪量の面的な分布情報である「解析積雪深・解析降雪量」の提供を開始

- ✓ 解析積雪深は、積雪の深さの実況を1時間ごとに約5km格子単位で面的に推定したものである。
- ✓ 解析降雪量は、解析積雪深が1時間前から現在までに増加した量である（なお、減少した場合は0）。

令和4(2022)年10月に積雪変質モデルSMAPを導入したことにより、以下のように精度が改善

- ✓ 標高が高く積雪の多い地域に見られる解析積雪深の過小傾向が改善。観測値補正による影響が大きい平野部での解析積雪深の精度は同程度。
- ✓ 降雪量が多い場合に対する解析降雪量の過小傾向が改善し、降雪量分布としても改善が見られた。

参考URL

- 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/>
- 配信資料に関する技術情報【513号/R1.5.20】
～ 解析積雪深・解析降雪量の提供開始について～
<https://www.data.jma.go.jp/suishin/jyouhou/pdf/513.pdf>
- 配信資料に関する技術情報【593号/R4.8.23】
～ 解析積雪深・解析降雪量及び降雪短時間予報の改良に伴う精度向上について～
<https://www.data.jma.go.jp/suishin/jyouhou/pdf/593.pdf>

参考文献

- 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>.
- Brasnett, B., 1999: A global analysis of snow depth for numerical weather prediction. *J. Appl. Meteor.*, 38, 726–740. Link, Google Scholar
- 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, <https://doi.org/10.5331/bgr.32.65>.
- 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>.
- 気象庁予報部 (2015): メソ・局地数値予報システム、観測データ利用及びガイダンスの改良, 平成27年度数値予報研修テキスト, 44-49.
- 近藤純正・沼田洋・山崎剛 (1988): 積雪面アルベードのパラメータ化. 雪氷, 50, 216–22.
- 庭野匡思, 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
- 庭野匡思, 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.
- 藤本明宏・渡邊洋・福原輝幸 (2007): 輻射-透過を伴う路面薄雪氷層の融解解析. 土木学会論文集E, 63, 202–213.
- 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.