

解析積雪深・解析降雪量

予報部予報課開発班

変更履歴

2019/11/18 初版

2019/12/24 文言等の微修正

はじめに

平成30年1月の首都圏での大雪や2月の北陸地方での大雪など、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。

気象庁では、積雪の深さや降雪量の状況を知らせるためにアメダスの積雪計による観測値を提供しているが、道路管理者の通行規制の適時的確な判断などを支援するために、令和元年11月から新たに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」を提供を開始した。

今回は、解析積雪深・解析降雪量の概要、作成方法、検証結果等について説明する。



アメダス積雪計の配置図

大雪の概要については、以下を参照してほしい。

- 平成30年1月の首都圏での大雪

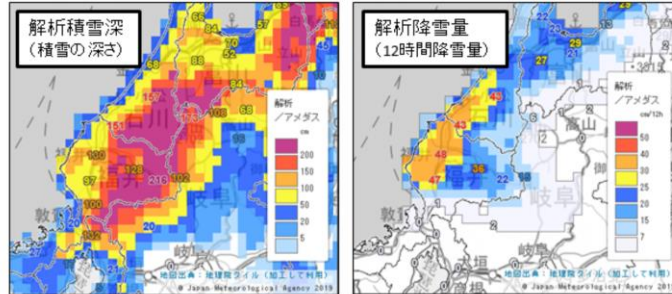
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180131/20180131.html>

- 平成30年2月の北陸地方の大雪

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

解析積雪深・解析降雪量の概要

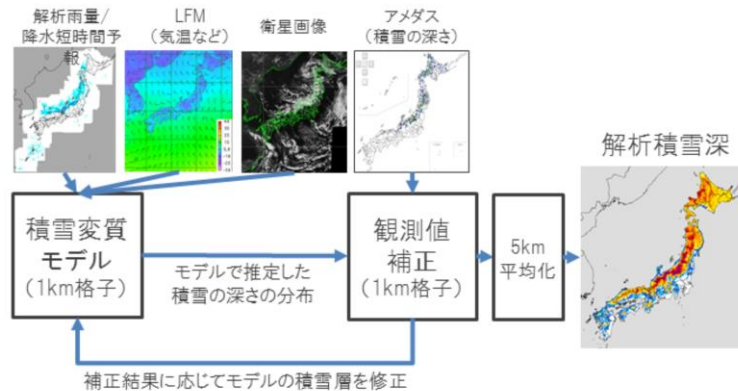
- 解析積雪深は、積雪の深さの実況を1時間ごとに約5km格子単位で面的に推定したものである。
- 解析降雪量は、解析積雪深が1時間ごとに増加した量を算出し、積算したものである。なお、減少した場合は0となる。



解析積雪深と解析降雪量の描画例(平成30年2月6日12時、日本時間)
数字はアメダスの積雪深計の観測値。単位はセンチメートル。

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。



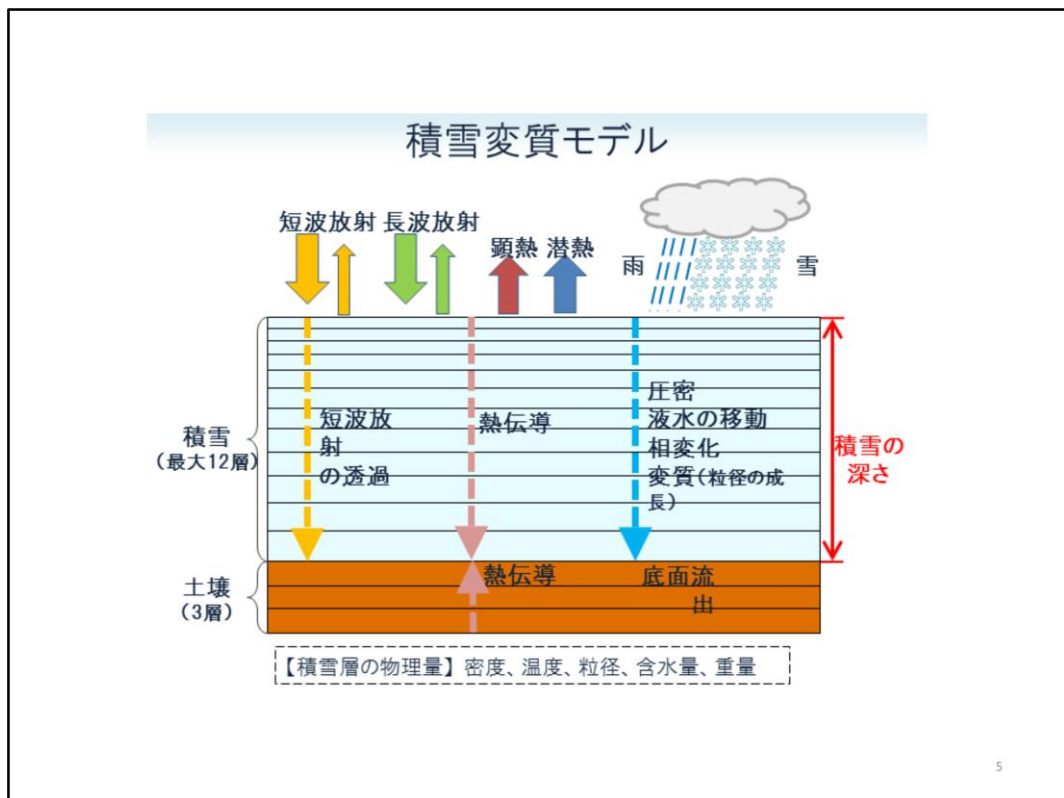
4

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平均化する。

積雪変質モデルは前時刻の結果を初期値とするので、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。



積雪変質モデルは、積雪を多層に分割し、積雪内部の時間の経過による沈み込み(圧密)・液水の移動・相変化・変質(粒径の成長)や積雪と大気・土壌との熱のやりとり等を考慮した鉛直1次元モデルである。水平方向は1km格子、鉛直方向は積雪層が最大12層、土壌層が3層に設定している。鉛直1次元モデルのため、隣り合った格子同士のやり取りは考慮していない。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が近い隣接する層を優先して合成する。また計算不安定を防ぐため、隣接する層の層厚比が大きくなりすぎた場合も合成を行う。

初期値は、前時刻の積雪変質モデルの出力値を使用する。入力値は、降水量、気温、風速、湿度、気圧、可降水量、雲量を使用する。入力に用いるプロダクトは次スライドの仕様を参照してほしい。地中温度は変化が少ないため、最下部の土壌層には地中温度の平年値を与える。出力値は、各積雪層の密度・温度・粒径・含水量・重量、各土壌層の温度・含水量である。積雪変質モデルの積雪の深さは、層毎の深さ(=(重量-含水量)/密度)を合計して求める。

降雪量は、解析雨量及び地上気温、地上湿度、地上気圧から推定している。気温と雪水比の関係は概ね次のとおりである。

気温 雪水比(=降雪深[cm]/降水量[mm])

$t \leq -6^{\circ}\text{C}$ 約 2.0

$t \leq -3^{\circ}\text{C}$ 約 1.8

$t < -1^{\circ}\text{C}$ 約 1.5

$t \leq 0^{\circ}\text{C}$ 約 1.2

上記以外 約 1.1

【補足】このモデルは、山崎ら(1991)等を参考に開発したものである。

積雪変質モデルの仕様

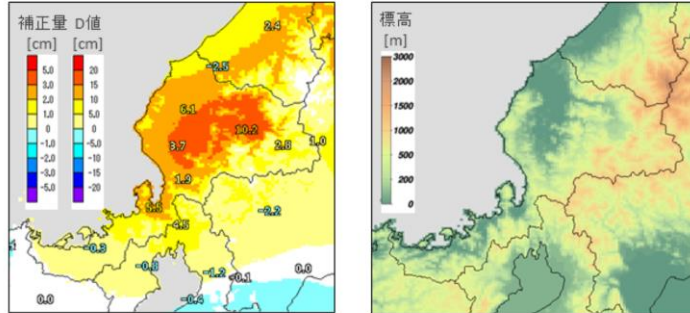
【積雪変質モデル】	
水平分解能	1km格子
鉛直層数	積雪層:最大12層 土壌層:3層
初期値	前時刻のモデル出力値
入力値	降水量 : 解析雨量/降水短時間予報 気温 : LFM地上面 風速 : LFM地上面 湿度 : LFM地上面 気圧 : LFM地上面 可降水量 : LFM地上面 雲量 : 衛星画像(バンド3,7,13) 最下部の地中温度 : 平年値
出力値	積雪層の重量、密度、温度、粒径、含水量 土壌層の温度、含水量

6

積雪変質モデルの仕様である。

観測値補正

- 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します(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、補正対象格子のモデル推定値に加える。



[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)。単位はセンチメートル。

7

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)。

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。

観測値補正

最適内挿法は以下の式を解く。

$$d^a = d^b + \sum_k^N w_k (d_k^o - H_k(d^b))$$

推定値と観測値との差 (Δd)

観測点ごとの重み (w_k) は以下の方程式から求める。

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

誤差相関 μ は Brasnett (1999) を参考にガウス型とした。

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

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

$$d_k^o > 10\text{m}$$

$$\Delta d > 25\text{cm} (= \gamma_{tol} \sqrt{\sigma_o^2 + \sigma_b^2}, \gamma_{tol}=5)$$

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

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)。

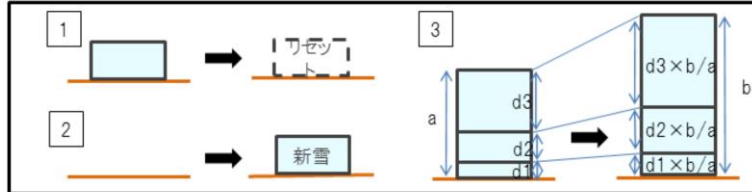
r : 格子と観測点の距離

Δz : 格子と観測点の標高差

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。

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。
 - 補正後=0cm
積雪層の全ての物理量をリセット。
 - 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。
 - 補正前>0cm、補正後>0cm
各層の厚さが $\left(\frac{\text{補正後}}{\text{補正前}}\right)$ 倍となるように重量と含水量を修正。それ以外の物理量は修正なし。

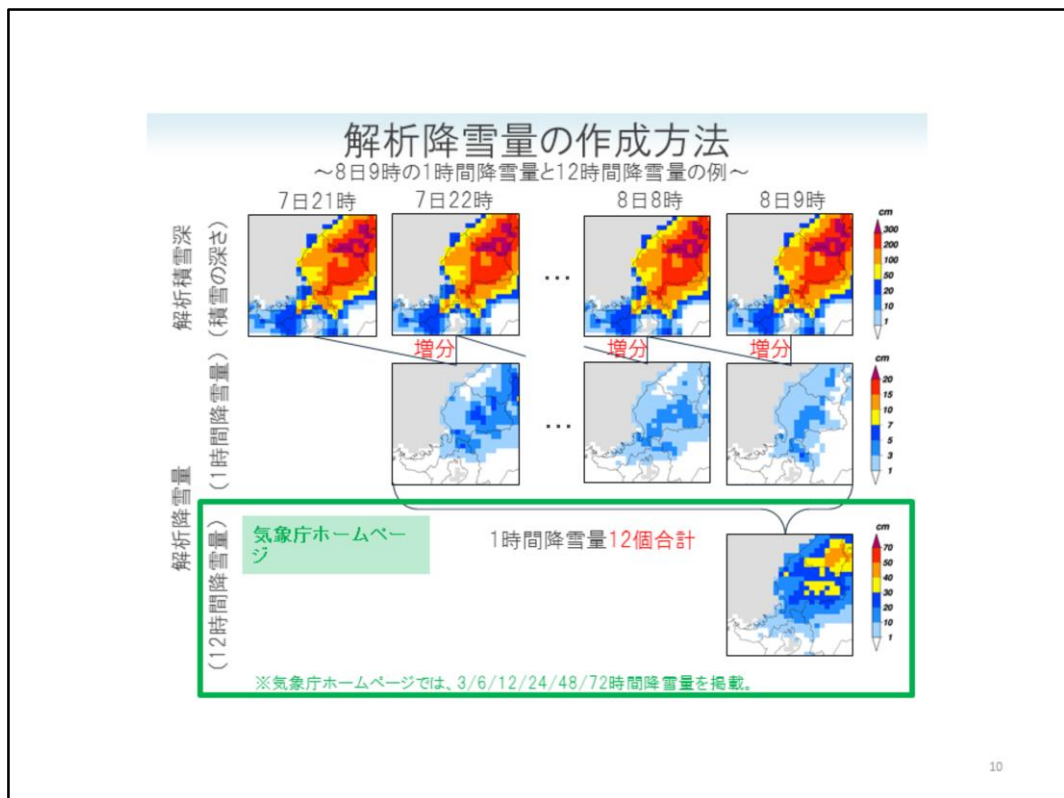


9

積雪変質モデルは前時刻の結果を初期値とするので、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、各層の厚さが $(\text{補正後}/\text{補正前})$ 倍となるように重量と含水量を修正する。それ以外の物理量は修正しない。



10

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。
 これは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。

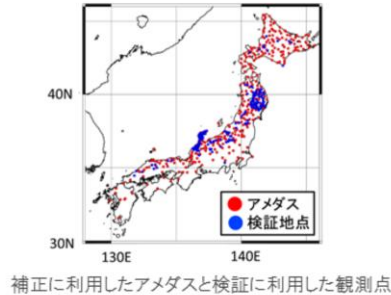
12時間降雪量は、1時間降雪量を12個合計して求める。現在と12時間前の解析積雪深から求めた増分ではない。

参考までに、気象庁ホームページの「現在の雪」ページ

(<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/snow/jp/>) に掲載している降雪量は3/6/12/24/48/72時間降雪量である。

検証に用いたデータ

- 気象庁以外の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。
- 期間は、2015/16、2016/17、2017/18年の10月～5月。
- 要素は、12時間降雪量と積雪の深さ。
 - 積雪の深さは毎時、12時間降雪量は0時と12時を利用。
 - 観測値との比較する値は、観測点が含まれる格子の値。
 - 観測値と解析積雪深・解析降雪量がともに0cmの場合は除外。



11

次に、検証結果を示す。

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情報管理室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。
観測点の場所は、図に青丸示している。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。

期間は、2015/16、2016/17、2017/18年の10月～5月である。
要素は、12時間降雪量と積雪の深さの2つである。

毎0、12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。
観測値と解析積雪深・解析降雪量がともに0cmの場合は除外した。

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。

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

x : 観測値
 y : 解析積雪深・解析降雪量

- 相関係数(R)

- 値の類似度(相関)を評価。

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

- 二乗平均平方根誤差(RMSE)

- 誤差の大きさ(絶対値)を評価。

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

12

検証に用いた指標は3つ。

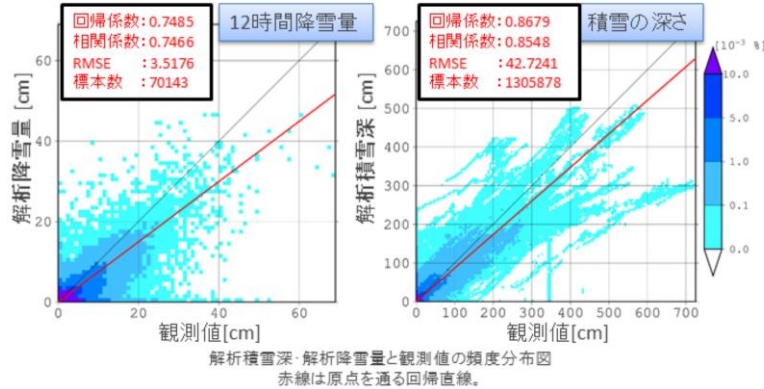
1つ目は回帰係数で、値の量的な一致度を評価するもの。

2つ目は相関係数で、値の類似度(相関)を評価するもの。

3つ目は二乗平均平方根誤差(RMSE)で、誤差の大きさ(絶対値)を評価するもの。

検証結果(頻度分布図)

- 12時間降雪量は、全体の6～7割で観測値との差が±3.5cmの間に収まり、観測値と比較して全体的に少なめの傾向が見られる。
- 積雪の深さは、積もり始めからの誤差が積み重なり、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。



13

12時間降雪量と積雪の深さの頻度分布図を示す。

12時間降雪量は、全体の6～7割で観測値との差が±3.5cmの間に収まり、観測値と比較して全体的に少なめの傾向が見られる。

これは、前者はRMSEが3.5176であること、後者は回帰係数が0.7485であることから言える。

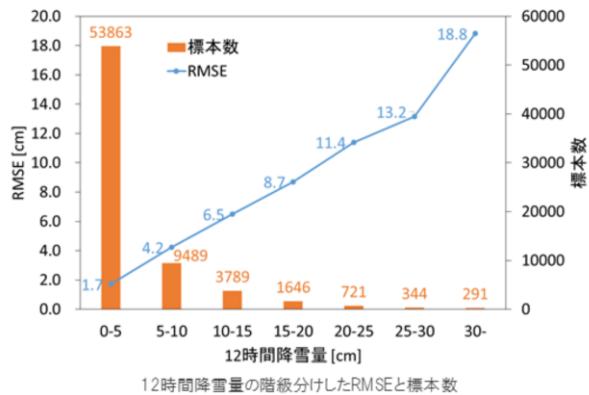
積雪の深さは、積もり始めからの誤差が積み重なり、観測値と比較して全体的にやや少なめの傾向が見られる。

これは、回帰係数が0.8679であることから言える。

積雪の深さで、観測値350cm付近にまっすぐ上に伸びる線が見えるが、これは品質管理で取り除けなかった異常値と考えられる。

検証結果(階級別のRMSE)

- 12時間降雪量が多くなると、誤差も大きくなります。誤差は値の50%程度になります。



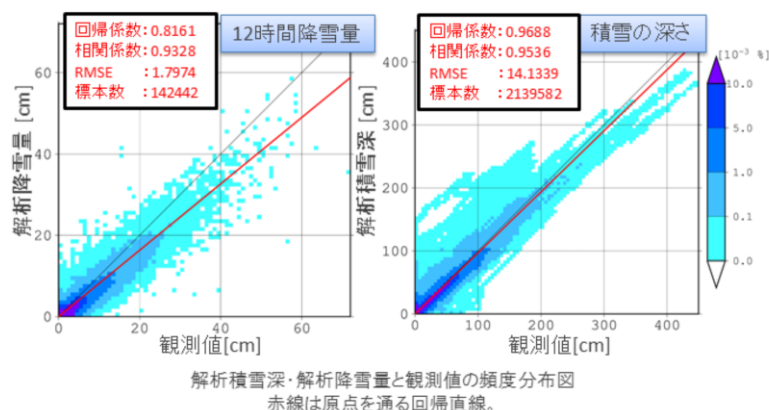
14

12時間降雪量をいくつかの階級に分けたときのRMSEを示す。

12時間降雪量が多くなると、RMSEも大きくなる。どの階級もRMSEの大きさは階級値の50%程度である。

【参考】アメダスと比較(頻度分布図)

- 解析積雪深・解析降雪量は5km格子の平均値のため、補正に用いたアメダスの値と一致しないことがある。



15

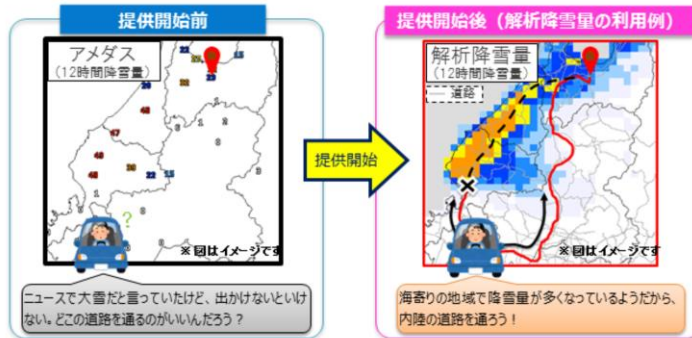
参考までに、補正に利用しているアメダスと5km平均値である解析積雪深・解析降雪量を比較した結果を示す。

アメダスは補正に用いている(従属資料である)ため、この結果は精度を示すものではなく、解析積雪深・解析降雪量とアメダスにどれくらい違いがでるかを把握するための資料である。

図のように、解析積雪深・解析降雪量は5km格子の平均値のため、補正に用いたアメダスの値と一致しないことがある。

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ができる。



16

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かったが、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出来る。

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ができる。

解析積雪深・解析降雪量の留意点

- 5km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、積雪の深さの分布と降雪量の分布を把握するための資料として利用する。
- 格子内の観測値と必ずしも一致しない。
- 伝える時は、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、「〇〇地方を中心に積雪が増えています」などの表現する。

解析積雪深・解析降雪量の留意点

- 以下のとき、精度が低下する可能性がある。
 - 風が強い。
 - 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。
 - 解析積雪深・解析降雪量で用いるのは、地上気温のみ。
 - LFMや解析雨量などの入力値が実況とずれている。
 - 雪はレーダーや雨量計で観測しづらいため、解析雨量が過少となりやすい。

まとめ

- 令和元年11月から新たに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」の提供を開始した。
- 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)。
- 格子ひとつひとつの値を直接的に利用するのではなく、積雪の深さの分布と降雪量の分布を把握するための資料として利用する。

参考URL & 文献

- 現在の雪(解析積雪深・解析降雪量)
<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/snow/jp/>
- 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/add/suishin/jyouhou/pdf/513.pdf>
- Brasnett, B., 1999: A global analysis of snow depth for numerical weather prediction. *J. Appl. Meteor.*, **38**, 726-740.
Link, Google Scholar
- 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:モデル, *雪氷*, **53**, 115-123.