

解 説

推計気象分布について

若山 郁生*・今井 崇人*・北村 智文*・小林 健二*

要 旨

推計気象分布は、毎正時における地上気温、天気 of 分布を、1 時間ごとに約 1 km メッシュの細かさで把握できるものであり、2016 年 3 月から提供を開始した。推計気象分布は、気象庁ホームページで画像として公開しているほか、気象業務支援センターを通じて、計算機可読型データとしても提供している。

本稿では、推計気象分布の概要、作成アルゴリズム、精度評価の結果、利用上の注意点などについて包括的に解説する。

1. はじめに

気象庁における地上気象観測では、各観測地点の観測データを提供している。地上気象観測の観測要素を面的に直接観測することは行っていないが、実況を面的に把握できる資料として、2016 年 3 月から最新の地上気温、天気 of 分布を 1 時間ごとに約 1 km 四方の細かさで把握できる「推計気象分布」の提供を開始した（以下、地上気温の推計気象分布を「気温分布」、天気 of 推計気象分布を「天気分布」と呼ぶ）。推計気象分布は、気象庁ホームページで画像として公開しているほか、気象業務支援センターを通じて、計算機可読型データとしても提供している。

推計気象分布では、アメダス¹の直接観測を行っていない場所でも地上気温や天気 of 推定値を提供するため、その作成過程においてアメダス観測データのほか、気象衛星や気象レーダーによるリモートセンシング観測データ、数値予報の予測値

も一部利用する。このため推計気象分布のデータは、当該時刻における当該地点の実況を最新の技術で解析した「推計値」と位置づけている。また、災害時等にアメダスの観測データが入手出来なくなるなど、推計気象分布の作成に使用するデータの一部が得られなくても、可能な限り得られるデータを用いてプロダクトを作成する業務継続性も重視しており、これによりアメダスデータの代替としての参考情報を提供出来る。

2016 年 3 月の公開以降、算出アルゴリズムの改良を続けており、2016 年 12 月には天気分布において「非降水エコー除去処理」を導入した（気象庁観測部 2016）。また、2019 年 2 月には気温分布において局地モデル（LFM）²の予測値などを利用した大きなアルゴリズム変更を行い、精度の改良を図った（気象庁観測部 2019）。

本稿では推計気象分布を包括的に解説することとし、第 2 章で推計気象分布の概要について、

* 気象庁観測部計画課気象技術開発室（現 大気海洋部業務課気象技術開発室）

¹ 地域気象観測システム（Automated Meteorological Data Acquisition System）

² 気象庁が運用する数値予報モデルの一つ。水平格子間隔は 2 km。
（令和 2 年 12 月 9 日発行）

第3章ではこれまで改良してきた作成アルゴリズムについて、第4章では精度評価の結果について、第5章では利用上の注意点について解説する。

2. 推計気象分布の概要

2.1 表示例

図2-1は、気象庁ホームページで「埼玉県」を選択した時の2018年8月5日14時の気温分布である。気温35℃以上の領域が紫色で表示され、埼玉県北部を中心に広い範囲で猛暑となっている様子がわかる。図2-2は、「関東地方」の2018年1月22日13時の天気分布である。南岸低気圧に

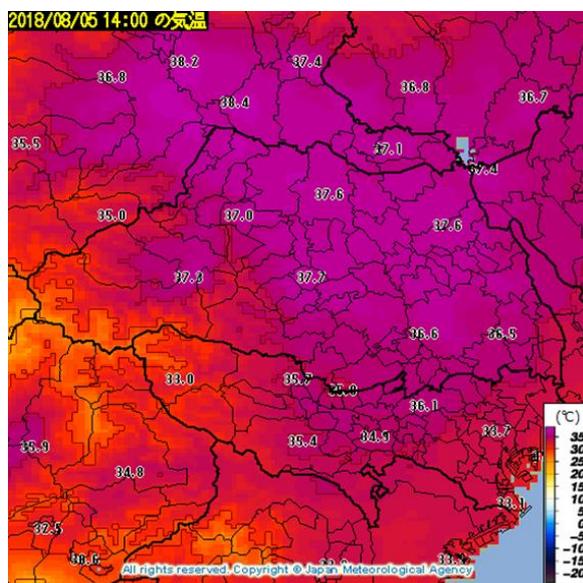


図2-1 気温分布の表示例(2018年8月5日14時)

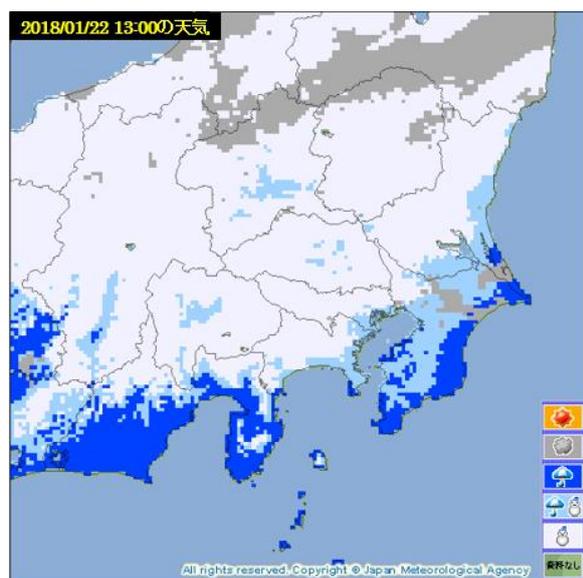


図2-2 天気分布の表示例(2018年1月22日13時)

より広い範囲で雪となっていることが把握できる。気象庁ホームページではこうした画像を動画で表示させることも可能で、時間的な変化傾向も把握できる。

2.2 仕様など

推計気象分布は約1km四方の格子(メッシュ)ごとに気象の推定値を提供する。提供するメッシュは、一部の島嶼部を除く陸上である(2.3節を参照)。2019年9月現在、地上気温と天気の2つの要素を1時間間隔で公開しており、毎正時のプロダクトを毎時20分頃提供している。

気温分布は0.5℃間隔の階級に分けて発表している。例えば0.0℃以上0.5℃未満の場合は0.0℃、0.5℃以上1.0℃未満の場合は0.5℃となる。また、天気分布は「晴れ」、「曇り」、「雨」、「雨または雪」、「雪」の5つのカテゴリーに分けて発表する。

気温分布、天気分布ともに、入力データが不足して算出できない場合は「資料なし」とする。

算出する値は当該メッシュ内の代表的(平均的)な情報であり、特定の地点を対象としたものではない。例えば気温分布の場合、メッシュの平均的な標高やその他の数値情報に基づいて算出された値である。

気象庁ホームページにおける画像掲載では2019年9月現在、全国、全国を20に分けた地方別、都道府県別(北海道や島嶼部等はより小さい地方別)の表示を選択でき、過去48時間分の表示が可能である。また気象業務支援センターを通じて提供される、GRIB2形式の計算機可読型データを利用するために必要なデータフォーマットの情報は「配信資料に関する技術情報第422号」(気象庁観測部2016)に掲載されている。

2.3 推計気象分布を作成するメッシュについて

推計気象分布では、昭和48年7月12日行政管理庁告示第143号に基づく「標準地域メッシュ」を使用している(総務省統計局:地域メッシュ統計について)。緯度・経度の基準は世界測地系としている。推計気象分布を提供するメッシュの範囲は、気温分布の作成に使用する「メッシュ平年値

2010（以下、「メッシュ平年値」と呼ぶ）」と同じである（詳細は後述）. すなわち推計気象分布を作成するメッシュは標準地域メッシュに従い、かつメッシュ平年値を作成するメッシュに限られることから、海上や一部の島嶼部では作成されない。

図 2-3 にメッシュ平年値及び推計気象分布で使用している標準地域メッシュの 1 次メッシュ（第 1 次地域区画）を示す. 1 次メッシュは緯度 40 分、経度 1 度の間隔で区分された区画である. 1 次メッシュを緯線方向及び経線方向に 8 等分することにより、緯度 5 分、経度 7 分 30 秒の間隔の 2 次メッシュ（第 2 次地域区画）が得られる. さらに 2 次メッシュを緯線方向及び経線方向に 10 等分することにより、緯度 30 秒、経度 45 秒の間隔の 3 次メッシュ（第 3 次地域区画）が得られる. 一辺の長さは約 1 km である. 3 次メッシュは「標準地域メッシュ」とも呼ばれ、さまざまな統計に用いられる. 推計気象分布はこの 3 次メッシュに対して推計値を算出している.

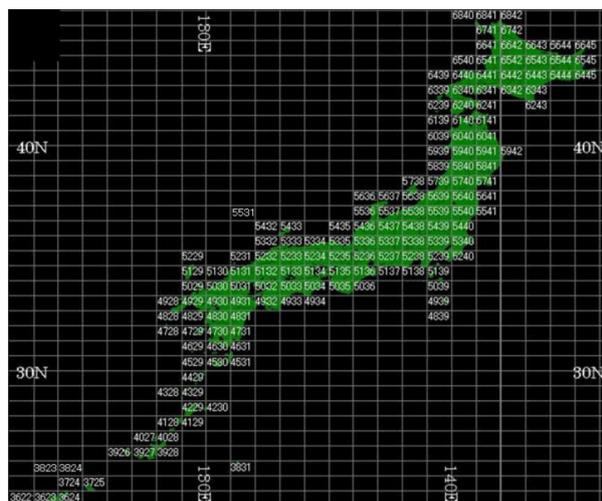


図 2-3 メッシュ平年値で使用する 1 次メッシュ、数字は 1 次メッシュコード³（気象庁 2012:メッシュ平年値 2010 解説より）

2.4 メッシュ平年値について

気象観測データにおける「平年値」とは、世界共通に西暦で 1 の位が 0 となる年までの 30 年間

の観測値の平均であり、気象庁のメッシュ平年値 2010 とは、3 次メッシュごとの 1981 年から 2010 年までの 30 年間の平年値を推定したものであり、気温分布の作成においても利用している。

メッシュ平年値 2010 では、観測地点を含むメッシュにおいて、アメダス観測値による平年値に対する、各メッシュの緯度・経度・標高・勾配等の地形因子や人工被服率（都市因子）の統計的関係を重回帰式で求め、観測地点を含まないメッシュにおける平年値を推定している（気象庁 2012）。なお、こうした地形因子や都市因子に関する情報は国土数値情報（国土交通省国土政策局国土情報課）から得ている。このようにメッシュ平年値は地形因子や都市因子に関する情報を含んでいる。気温関連のメッシュ平年値の精度は全月の RMSE において、月平均気温が 0.4 °C、日最高気温の月平均で 0.5 °C、日最低気温の月平均で 0.9 °Cである（気象庁 2012）。

3. 推計気象分布の作成アルゴリズム

3.1 気温分布の作成アルゴリズム

気温分布は 2019 年 2 月 27 日 10 時（日本時間）に改良が行なわれたため、その前後でアルゴリズムが異なる。改良後のアルゴリズムは、改良前のアルゴリズムを基本としてその弱点を補うように拡張したものである。ここでは、まず改良前のアルゴリズムの概要と改良の目的について述べ、その後、改良後のアルゴリズムの詳細について解説する。

3.1.1 改良前のアルゴリズムの概要

改良前の気温分布の作成方法を一言で説明すると、月平均気温のメッシュ平年値をアメダス気温観測値で修正する、という方法をとっていた。アメダスの気温観測地点は全国に約 930 あるので、この情報を内挿するだけでもある程度の面的情報を得ることは可能である。しかし、アメダスで気温を観測する地点は約 21km 間隔であり（気象庁:地域気象観測システム）、観測地点間では地形等が複雑に変化して気温に影響していることを

³ 4 桁の数字で、上 2 桁で南北方向、下 2 桁で東西方向の順番を表す。

考えると、アメダス観測値の内挿だけでは1 km メッシュの情報として十分な精度を得ることは難しい。これを補うものがメッシュ平年値である。2.4 節に書いたようにメッシュ平年値は地形因子や都市因子に関する1 km メッシュごとの情報を含んでおり、改良前の気温分布ではアメダス観測地点間の情報をメッシュ平年値で補間することにより、1 km メッシュの情報を作成していた。

3.1.2 改良の目的

改良前のアルゴリズムでは最新の気象状況を反映できるデータはアメダス観測値のみであるので、観測地点のない場所での局所的な昇温・降温の表現は不十分であった。また、観測地点間を埋めるために月平均気温の平年値を用いることにも改良の余地があった。月平均気温は日平均気温の月平均であり、気温の日変化（一日内の時間変化）は平滑化されて、地理的な気温の凹凸パターンも日で平滑化されたものになっている。もし、地理的な気温の凹凸パターンが一日中変化しない場合は、気温分布に日変化を反映する役割はアメダス観測値が担い気温の表現に問題は生じない。しかし凹凸パターンは、特に盆地や岬の先端といった場所で、日中と夜間では異なるのが自然である。

このため、以下を要点とする気温分布の改良を行うこととした。

①観測地点間の情報を表現するためのメッシュ平年値を月平均気温から、仮想的な特別の平年値に変更

日最高気温月平均値、日最低気温月平均値のメッシュ平年値にモデル化した日変化を適用し、仮想的な特別の平年値（以下、「特別拡張版平年値」と呼ぶ）を作成した。これを月平均気温の代わりに用いることにより日中、夜間など時間帯に応じた地理的な気温の凹凸パターンの違いが反映できる。

② LFM 予測値の利用

観測地点間の情報として、平年値の代わりに LFM 予測値を利用した気温分布を別途作成し、平年値から作成した気温分布と LFM 予測値から作成した気温分布を気象状況に応じた重みを付けてブレンド（両者を合成）して最終的な気温分布を作成する。これにより、アメダス観測値では捉えられない局所的な気象状況の反映がある程度可能になる。

3.1.3 改良後のアルゴリズム

改良後の気温分布の作成に用いる主なデータは、

- ・アメダス気温観測値
- ・アメダス平年値（日最高気温月平均、日最低気温月平均）
- ・メッシュ平年値 2010（日最高気温月平均、日最低気温月平均）
- ・ LFM 予測値（地上及び上層の気温）

である。このほか、アメダス気温観測値が欠測の場合にメソモデル (MSM)⁴の気温ガイダンス（石川宣広 2018 など）を使用することがある。

図 3-1 にブレンド気温分布作成アルゴリズムの流れを示す。大きく、平年値を利用する流れ（図の左半分）と LFM 予測値を利用する流れ（右半分）に二分される。平年値を利用する流れでは、日最高気温月平均値、日最低気温月平均値のメッシュ平年値及びアメダス平年値にモデル化した日変化を適用し、日の出・日の入り時刻も考慮して特別拡張版平年値を作成する。これをアメダス観測値で「距離重み付け法」により修正することにより、平年値をベースとする気温分布（以下、「平年値ベース気温分布」と呼ぶ）を作成する。ここで、「ベース」とは観測値による修正を行う前の基盤となるメッシュの値、という意味で以下用いる。一方、LFM 予測値を利用する流れでは、LFM 予測値⁵を推計気象分布のメッシュに内挿したものの（以下、LFM 予測値をメッシュ又はアメダス地

⁴ 気象庁が運用する数値予報モデルの一つ。水平分解能約 5 km。

⁵ 通常は 1 時間前を初期値とする予報時間 1 時間のものを用いるが、最新の LFM 予測値が得られない場合は最大 10 時間まで初期時刻を遡る。

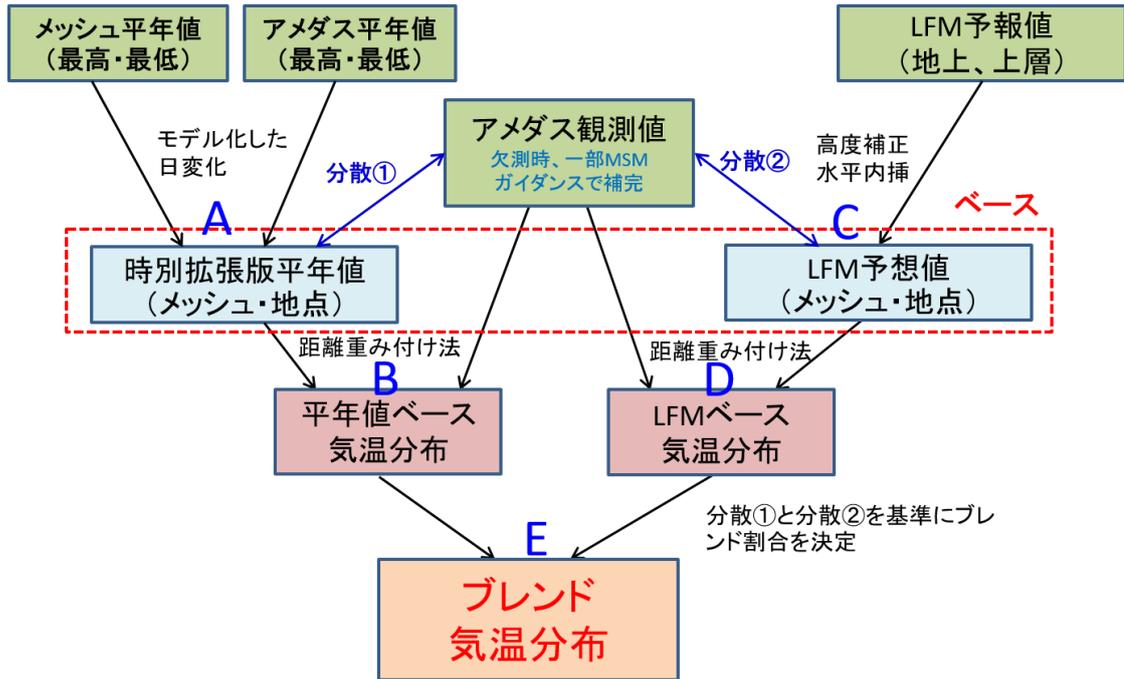


図 3-1 ブレンド気温分布作成アルゴリズム

点に内挿したものを「LFM 予想値」と呼ぶ)をベースとし、平年値と同様に距離重みづけ法で修正することにより、LFM 予想値をベースとする気温分布(以下、「LFM ベース気温分布」と呼ぶ)を作成する。最終的な気温分布は平年値ベース気温分布と LFM ベース気温分布をブレンドすることにより得る。ブレンドの割合はメッシュ近隣の10個の観測地点におけるアメダス観測値とベース(特別拡張版平年値又は LFM 予想値)との差の分散(距離による重み付き)から計算する。この分散が小さいほど気象状況とベースの形状が整合していると考え、ブレンドの割合を増やすようにしている。以下、それぞれの過程の詳細について述べる。

3.1.3.1 特別拡張版平年値の作成(図 3-1 の過程 A)

各メッシュにおける特別拡張版平年値は、日最高気温月平均、日最低気温月平均のメッシュ平年値及び緯度経度から計算される日の出・日没時刻から Cesaraccio et al. (2001) (図 3-2) に準じた以下の方法により計算した。アメダス観測値との平年差を求めるために用いる、観測地点における特別拡張版平年値もアメダス日最高気温月平均、日

最低気温月平均の平年値から同様に計算した。

- ・日の出時刻 (H_n , 日最低気温出現時刻) ~ 日最高気温出現時刻 (H_x)
 気温日較差の2倍を振幅とする三角関数
 ここでは、 H_x は太陽の南中時刻から日没時刻を1:2に内分する時刻とした。
- ・日最高気温出現時刻 (H_x) ~ 日没時刻 (H_o)
 日最高気温と日没時気温の差の2倍を振幅とする三角関数
- ・日没時刻 (H_o) ~ 日の出時刻 (H_n)
 日没時気温と日最低気温を通るルート関数

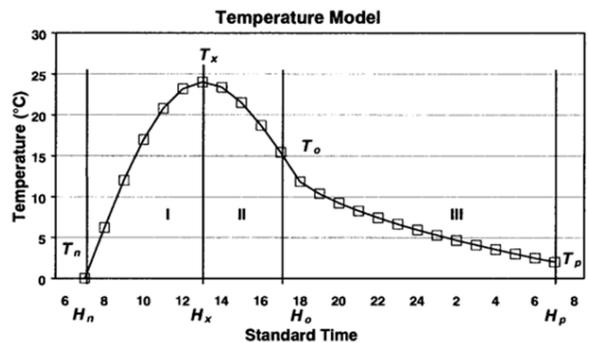


図 3-2 Cesaraccio et al. (2001) によるモデル化された気温日変化

T_o は日没時気温, $T_o = T_x - 0.39 (T_x - T_n)$ で与える

T_p は日の出時の気温, ここでは日最低气温と同じとしている

ただし, T_n, T_x はそれぞれ日最低气温, 日最高气温.

作成する特別拡張版平年値は, 月別特別であり, 同じ月の中で日による変化はない. 平均的な値を除いた地理的な気温の凹凸パターンは一日の中の時間帯による変化はあるが, 一月の中の日による変化は大きくないと仮定している. ここで, 特別拡張版平年値の日変化が実際の日変化と合致しているかどうかは大きな問題ではない. 気温分布の日変化はアメダス観測値が表現するので, 特別拡張版平年値には実際の日変化を再現するという目的は全くない. 特別拡張版平年値はあくまでも「ベース」であり, 役割はアメダス観測地点間の気温の凹凸パターンを表現することである. 実際, 改良前のアルゴリズムでは月平均気温という「一定値」を使用していたが, 気温の日変化そのものの表現は問題なくできていた. それでもベースを一定値から日変化を考慮したものに変更したのは, 3.1.2 にも書いたように, こうした地理的な気温の凹凸パターンは, 岬や盆地等の地形により日中と夜間では異なるものになると考えられるからである. この地理的な気温の凹凸パターンの差を時間帯によりうまく配分してやるのが特別拡張版平年値を導入した目的である. この

ため, ここでのモデル化した日変化は実際と違っていても問題ないのである.

3.1.3.2 平年値ベース気温分布の作成 (図 3-1 の過程 B)

図 3-3 に平年値ベース気温分布の作成方法を示す. アメダス観測値とアメダス平年値から計算した平年差を以下の「距離重み付け法」により推計気象分布のメッシュに拡大し, 得られた平年差分布を「ベース」のメッシュ平年値に上乘せして平年値ベース気温分布とする. 気温の「平年差」が距離の近い場所では似通った値をとることを仮定している. ここで, アメダス平年値とメッシュ平年値は, 3.1.3.1 節に書いた「特別拡張版平年値」である. 改良前は月平均気温の平年値を使用していた.

「距離重み付け法」ではメッシュの周囲で最大 5 地点の観測地点の平年差を距離に応じた重みをつけて平均することによりメッシュの平年差とする. 最大 5 地点の選択は水平距離の近い方からであるが, アメダスが欠測の場合はより遠くの観測地点の値が使用される. i は近隣の観測地点を示す番号, n はメッシュを示す番号とし, アメダス観測値とアメダス平年値 (特別拡張版平年値) を T_i^{obs} , T_i^{mnl} , メッシュ平年値 (特別拡張版平年値) を $T^{mnl}(n)$ とすると, 平年値ベース気温分布 $T_N(n)$ は,

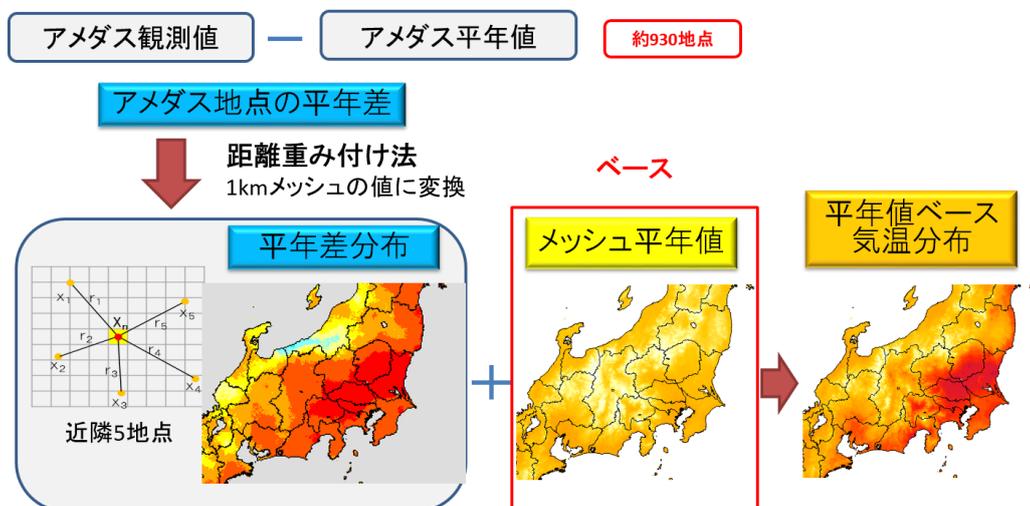


図 3-3 平年値ベース気温分布作成方法の概要

$$T_N(n) = T^{nml}(n) + \sum_i w_i(T_i^{obs} - T_i^{nml}) \quad (3-1)$$

と書ける。ここで、 w_j は重みであり、

$$w_i = \frac{1}{r_i} / \sum_j \frac{1}{r_j} \quad (3-2)$$

により推定するメッシュから観測地点までの距離 r_i の逆数に応じて与える。この重みを用いることにより、

- ・距離の近い観測地点のデータほど大きな重みで反映される

- ・観測地点を含むメッシュ及びその近傍の推計値は観測値に極めて近くなる⁶

という特徴が得られる。メッシュ上の値（メッシュの気温やメッシュ平年値）は一定の面積をもつ領域の代表値であり、観測地点の値（アメダス観測値やアメダス平年値）とは性質が違うため、両者を直接比較することは本来適切でない。このアルゴリズムでは観測地点の値とメッシュの値について、それぞれの「平年差」という物差しを一致させることで、比較を可能にしているところがポイントである。

アメダスが欠測となった場合の代替としては MSM の気温ガイダンスを用いる。気温ガイダンスの値は、MSM 予測値を入力として地点の値に合うように統計的に補正しているので、MSM 予測値そのものよりもアメダス観測値の代替として利用するのに適していると考えられる。使い方は式 (3-1) の T_i^{obs} を MSM 気温ガイダンスの当該時刻の予測値⁷に置き換える。ただし使用には一定の条件がある。MSM 気温ガイダンスはあくまでも予測値であるので場合によっては実況と異なることがある。観測値と同列に用いた場合、仮に予測が実況と異なっていたとすると、上記の距離重み付け法の特徴により MSM 気温ガイダンスを用いるメッシュの近傍では外れた予測値に極めて近い値となってしまう。これを避けるため、他に

実観測がある場合は最も近い観測地点の値としての使用はせず（この場合当該地点は欠測扱いとする）、2 番目以降の場合に限って使用する、という条件を入れている。ただしメッシュ近隣のアメダスが全て欠測の場合は、全て MSM 気温ガイダンスを用いる。なお、MSM 気温ガイダンス（予報時刻 3~5 時間）の対アメダス観測値の RMSE は季節や地点にもよるがおおむね 1.5 °C前後となっている（後藤尚親 2017）。

3.1.3.3 LFM 予測値からメッシュへの鉛直・水平内挿（図 3-1 の過程 C）

推計気象分布は、水平方向には約 1 km 間隔の国土数値情報の 3 次メッシュ（緯度経度座標）を使用しており、標高は同様に国土数値情報に基づき、1 m 単位としている。一方、LFM 予測値の出力格子は約 2 km 間隔で、座標系はランベルト正角円錐図法で与えられる。標高も LFM の地表面と推計気象分布のメッシュとは異なる。このため、LFM 予測値の情報を推計気象分布のメッシュ上で利用するには、標高差及び水平方向の空間解像度・座標系の違いを勘案し、適切に内挿する必要がある。

各メッシュの周囲 4 又は 9 格子の LFM 地表面及び上層の気温予測値をメッシュの緯度経度・高度に内挿することにより、メッシュにおける LFM 予想値を得る。内挿は鉛直→水平の順に行う。

鉛直内挿

① LFM 地表面高度 ≤ メッシュ高度 の場合
メッシュ高度の上にある最も近い気圧面（1000, 975, 950, 925, 900, 850, 800, 700, 600 hPa）と地表面高度との間で内挿する⁸。

⁶ 観測地点を含むメッシュであってもアメダス平年値とメッシュ平年値の差等のため完全に一致するとは限らない。

⁷ MSM ガイダンスは 3 時間ごとに作成されており、直近のもののが当該時刻の予測値を使用する。このため通常、予報時刻は初期時刻から 3~5 時間後のものとなる。ただし直近の MSM ガイダンスが作成されていない場合は初期時刻を遡る。

⁸ メッシュ高度と地表面の間に別の気圧面があっても使用しない。地表面の予測値には特有の物理過程が考慮されているのでその情報をなるべく保持するため。

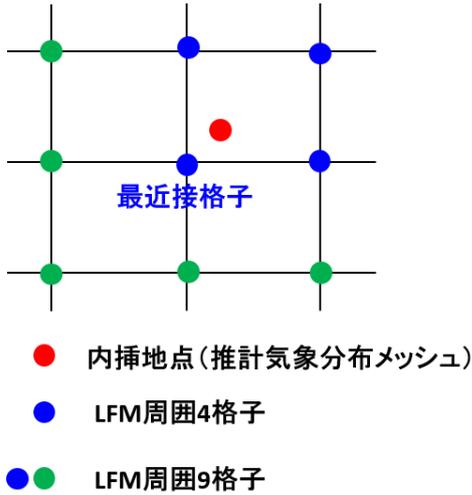


図 3-4 周囲 4 格子又は 9 格子のとり方
 周囲 4 格子のうち内挿地点に一番近い格子を最近接格子として、最近接格子とその周囲 8 格子を合わせたものを周囲 9 格子とする。

②メッシュ高度 < LFM 地表面高度 の場合
 標準気温減率 (0.006 K/m) で補正する。

水平内挿

鉛直内挿の結果、周囲 4 格子又は 9 格子のメッシュ高度に相当する予想値が得られるが、これらの中で、陸面割合 0.5 以上、かつメッシュ高度 ≥ LFM 地表面高度 - しきい値 (250 m) であるものを「使用可能格子」とする。使用可能格子には鉛直内挿において地上と上層の間で線形内挿されたものと、気温減率で補正されたものが共に含まれている。使用可能格子が周囲 4 格子中 2 格子以上である場合は周囲 4 格子による内挿を行う。この条件を満たさない場合、使用可能格子が周囲 9 格子中 1 格子以上なら周囲 9 格子による内挿を行う。使用可能格子が周囲 9 格子に存在しない場合、使用可能格子でなくても陸面割合が最大の格子の値を使用する。周囲 9 格子の陸面割合が全て 0 なら最も近い格子の値を使用する。内挿方法は周囲の使用可能格子に対して距離の逆数で重みをつける。

$$T^{lfm}(n) = \sum_k \frac{1}{d_k} * T_k^{grid} / \sum_k \frac{1}{d_k} \quad (3-3)$$

ここで、 d_k はメッシュから各 LFM 格子までの距離、 T_k^{grid} は鉛直内挿済みの LFM 予測値、 $T^{lfm}(n)$

はメッシュにおける LFM 予想値である。

3.1.3.4 LFM ベース気温分布の作成 (図 3-1 の過程 D)

3.1.3.3 と同様の方法で LFM 予測値をアメダス地点の緯度経度・高度に内挿することにより、アメダス地点における LFM 予想値 T_i^{lfm} を得る。平年値の場合と同様に、アメダス観測値 T_i^{obs} と T_i^{lfm} の差を取り、距離重み付け法でメッシュに拡大する。これをベースとなるメッシュの LFM 予想値 $T^{lfm}(n)$ に上乘せすることにより、LFM ベース気温分布 $T_L(n)$ とする。重み w_i は (3-2) 式と同じである。

$$T_L(n) = T^{lfm}(n) + \sum_i w_i (T_i^{obs} - T_i^{lfm}) \quad (3-4)$$

3.1.3.5 ブレンド気温分布の作成 (図 3-1 の過程 E)

平年値ベース気温分布と LFM ベース気温分布をブレンドする際に、ベースの形状がより実況に整合していると考えられる方のブレンド割合を増やす。

アメダス地点において、

- ①観測値と LFM 予想値 (アメダス地点) の差
- ②観測値と特別拡張版平年値 (アメダス地点) の差

をとり、各メッシュの近隣 10 地点において、①、②の重みつき分散を計算する。ここに距離 r_i に応じて指数関数的に減少する重みとして、 W_i を以下のように定める。

$$W_i = e^{-\frac{r_i}{D}} \quad (3-5)$$

D は定数であり、10 地点目の重みが 0.3~0.5 程度になるように $D=60$ km とした。この重みを用いると、LFM ベース、平年値ベースにおける観測値とベースの差の重み付き平均 M_L 、 M_N は

$$M_L(n) = \sum_{i=1}^{10} W_i (T_i^{obs} - T_i^{lfm}) \quad (3-6)$$

$$M_N(n) = \sum_{i=1}^{10} W_i (T_i^{obs} - T_i^{nml}) \quad (3-7)$$

重み付き分散 V_L , V_N は

$$V_L = \sum_{i=1}^{10} W_i (T_i^{obs} - T_{lfm_i} - M_L)^2 \quad (3-8)$$

$$V_N = \sum_{i=1}^{10} W_i (T_i^{obs} - T_{nml_i} - M_N)^2 \quad (3-9)$$

で与えられる。この分散が小さいほど気象状況とベースの形状が整合していると考え、ブレンドの割合を大きくする。改良版気温分布であるブレンド気温分布 (T_B) は、

$$T_B = \frac{V_N}{V_L + V_N} T_L + \frac{V_L}{V_L + V_N} T_N \quad (3-10)$$

により計算する。

こうして得られる改良版気温分布は、アメダス地点以外の気象状況の反映及び日中と夜間の地理的な気温の凹凸パターンの違いの反映が、ある程度可能になっている。

3.1.3.6 一部の入力データが得られない場合の作成方法

推計気象分布は大規模災害などにより観測データが提供できない場合の代替データとしての役割も期待されているため、一部のデータが利用できない場合、少々精度を落とすことがあっても可能な限り他のデータを用いて作成する仕組みを採用している。改良版の気温分布は、入力とし

て用いられる LFM 予測値、アメダス観測値、MSM ガイダンスのどれか一つでもあれば作成可能である。表 1 にそれぞれの入力データが得られない場合の作成方法と、2017 年 1 年間における精度比較を示す。LFM 予測値が得られない場合は平年値ベース気温分布が採用される。また、アメダス観測値と MSM ガイダンスが得られない場合、LFM 予想値を出力する。最新の LFM 予測値や MSM ガイダンスが得られなくなったとしても、10 時間後までは LFM 予測値、また 39 時間後までは MSM ガイダンスが利用可能であるため、これらのデータを入力データとしてプロダクトは作成される。39 時間以上データが途絶えるとすべての入力 that 得られないため、「資料なし」となる。

精度については、アメダス観測値と MSM ガイダンスが利用できず LFM 予想値をそのまま出力する場合が最も悪く、通常時より RMSE で約 0.4 °C 悪化する。表は国内全てのデータが得られない場合で計算しているの、特定の地域で丸ごとデータが得られない場合の精度悪化は、通常と同じような気象場であれば当該地域を中心として RMSE で約 0.4 度以下と考えられる。ただし、モデルも含めて全ての入力が停止し、予報時間の長い LFM 予測値や MSM ガイダンスを用いる場合は、予報時間に応じた精度低下が考えられる。

表 1 入力となるデータが得られない場合の振る舞いと 2017 年 1 年間における精度比較 (精度検証は×のデータを一切使わずに算出した値)

LFM予測値	観測値	MSMガイダンス	プログラムの振る舞い	2017年1年間の検証値	
				BIAS	RMSE
○	○	○	通常時	0.003	1.024
○	○	×			
○	×	○	ブレンド気温分布を出力 観測値の代わりにMSMガイダンスを使用	0.015	1.392
○	×	×	LFM予想値を出力	0.013	1.466
×	○	○	平年値ベース気温分布を出力	0.006	1.119
×	○	×			
×	×	○	平年値ベース気温分布を出力 観測値の代わりにMSMガイダンスを使用	0.018	1.453
×	×	×	資料なしを出力	-	-

3.2 天気分布の作成アルゴリズム

推計に用いる主なデータは、

- ・従来型雲量格子点情報（雲量）（Tokuno 2002）
（以下、「雲量格子点情報」と呼ぶ）
- ・解析雨量（宮城他 2013）（前 1 時間）
- ・気温分布
- ・MSM 予測値（相対湿度（地上），気温（850 hPa），気圧）

である。

図 3-5 に作成方法の概要を示す。天気分布には大きく分けて降水判定，晴曇判定，雨雪判定の三つの過程がある。まず主に解析雨量により降水判定を行い、「降水あり」，「降水なし」に大別する。その際，雲量等の情報により非降水エコー⁹の判定を行なう。「降水なし」の場合は雲量格子点情報により晴曇判定を行い、「晴れ」，「曇り」いずれかの天気を出力する。一方，「降水あり」の場合は，気温分布や MSM の地上湿度，850 hPa 気温の予想値から雨雪判定を行ない，「雨」，「雨または雪」，「雪」

のいずれかを出力する。以上により出力される天気は、「晴れ」，「曇り」，「雨」，「雨または雪」，「雪」のいずれかとなる。以下にそれぞれの過程の詳細について述べる。

3.2.1 降水判定（図 3-5 の過程 A）

降水の有無の判定は基本的に解析雨量により行う。解析雨量は推計気象分布と同じ標準地域メッシュの 3 次メッシュを用いているので座標変換の必要はない。解析雨量が 0 mm/h より大きいときに，当該メッシュとその周囲 8 メッシュを「降水あり」とする。ただし，レーダー観測データに基づく解析雨量には非降水エコーが反映されていることがあり，これが原因で天気分布に雨や雪の領域が広がることを軽減するため，2016 年 12 月に非降水エコーを検出した上での降水判定を導入した。雲量格子点情報による雲量データと直近の MSM による相対湿度の予測¹⁰，及び気温分布の地上気温から非降水エコーを検出し，条件に該

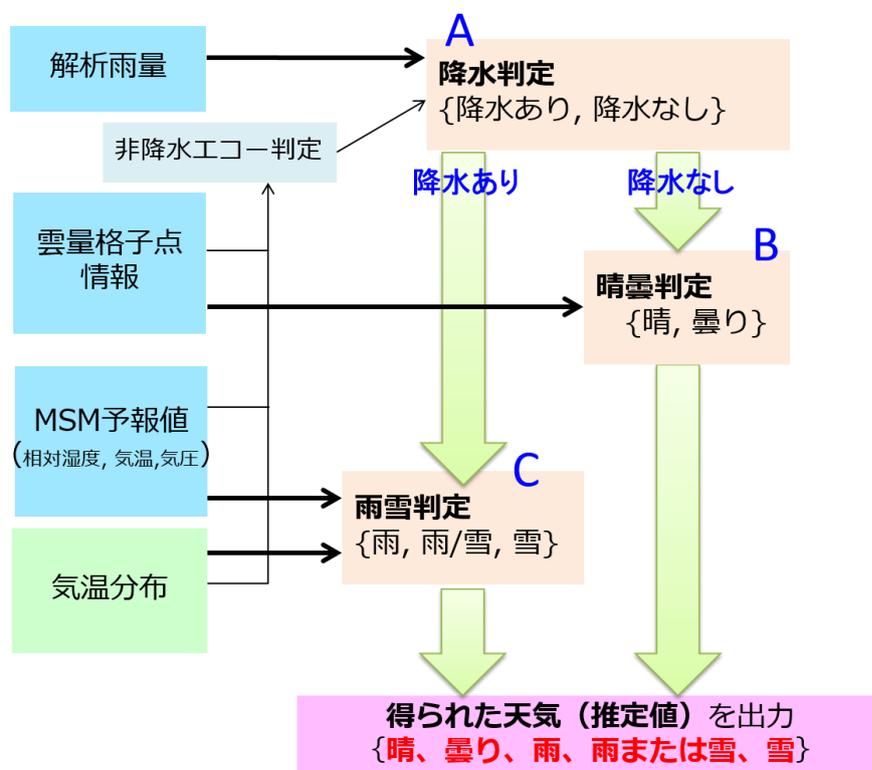


図 3-5 天気分布作成の流れ

⁹ 実際には降水がないにもかかわらず観測されるレーダーエコー

¹⁰ 通常は予報時刻 3~5 時間のいずれかを用いることになる。

当すれば解析雨量が 0 mm/h より大きくても「降水なし」と判定している。また、併せて「降水あり」の領域を周囲 8 メッシュに拡大する際に、拡大するメッシュの周囲に「晴れ」のメッシュ (3.2.2 参照) がある場合は「曇り」とする、という条件を付加している。これは、「雨」と「晴れ」が隣り合うことで不自然に見えることを避けるためである。具体的な数値を示しつつここまでの説明をまとめると、特定のメッシュにおける「降水あり」の判定条件は以下ようになる。

- ・当該メッシュで解析雨量 $>0\text{mm/h}$ かつ
(雲量 $\geq 37\%$ 又は 相対湿度 (%) $\geq 1.19 \times$
気温 ($^{\circ}\text{C}$) $+3.16$)
- ・周囲 8 メッシュに上記条件に該当するメッシュがあり、かつ「晴れ」のメッシュがない。

解析雨量は、対象時刻までの前 1 時間の雨量¹¹である。ここで、時刻のずれがあることに注意が必要である。すなわち、前 1 時間における雨量は、1 時間内の早い段階の値であるかもしれないが、当該時刻には降水が止んでいる可能性がある。この場合、地上気象観測の「天気」における雨や雪は当該時刻に現象があるかどうかで決まるため、天気分布と地上気象観測の間に齟齬が生じる。推計気象分布は 1 時間に 1 度の情報であることを考慮して、あえて前 1 時間内の降水を天気として表現しているものであり、注意が必要である。

3.2.2 晴曇判定 (図 3-5 の過程 B)

降水判定「降水なし」のメッシュに対しては、晴曇判定を行い、「晴れ」又は「曇り」のいずれかに分類する。晴曇判定は推計対象時刻の 10 分前の毎時 50 分の雲量格子点情報により行う。これは、地上気象観測において特別地域気象観測所など自動で天気を判別する地点で同じ時刻の情報をを用いているため、これに合わせている。該当時刻の情報が得られない場合は 10 分ごとに最大 50 分前まで遡った情報を利用する。雲量格子点情報は約 20 km 四方の格子で情報が提供されている。推定するメッシュの雲量は、周囲 4 個の雲量格子

点情報の格子の値に距離による重みを付けた平均で求める。この雲量が 37 % 以上であるとき、天気を「曇り」、37 % 未満であれば「晴れ」とする。この閾値は 2011 年 1 年間の目視観測を行う有人の地上気象観測地点において目視観測の天気と雲量格子点情報の値をロジスティック回帰分析することにより求めた。

3.2.3 雨雪判定 (図 3-5 の過程 C)

降水判定で、「降水あり」のメッシュに対しては、雨雪判定を行い、「雨」、「雨または雪」、「雪」のいずれかに分類する。地上における降水が雨になるか雪になるかを判定するため、地上気温と相対湿度を用いる方法が多く用いられるが、この判別チャートにはいろいろなものが存在する (例: 気象庁 2011)。天気分布では複数の判別チャートを試す中で精度が良かったものとして、図 3-6 のチャート (古市豊, 松澤直也, 2009) を用いることとし、気温分布から得た気温と直近の MSM 予測値の相対湿度を入力として判定を行っている。当チャートは MSM ガイダンスの天気判別に用いられているもので、「雪」と「雪か雨」、「雪か雨」と「雨か雪」、「雨か雪」と「雨」の各境界は、雨の出現確率がそれぞれ 0.05, 0.50, 0.95 となる境界線を直線で近似 (式は図 3-6 を参照) している。ただし、観測結果が「みぞれ」である場合は取り除いている。天気分布では当チャートを用いて、降水領域を「雨」、「雨または雪」、「雪」に分類する。ただし、地上気温が 6°C 以上の場合は「雨」、 0°C 以下は「雪」、850 hPa 気圧面の気温が 1°C 以上かつ地上気圧が 850 hPa 以上の場合は無条件に「雨」としている。チャートの「雨か雪」と「雪か雨」は区別せず、共に「雨または雪」として出力する。これは、「雨または雪」と判定された場合、実際に「雨」又は「雪」が降る確率が同程度であることを意味する。ただし、図 3-6 では考慮されていない「みぞれ」となる可能性もある。

¹¹ 取得できない場合は 30 分前、つまり 1 時間 30 分前から 30 分前までの雨量を用いる。

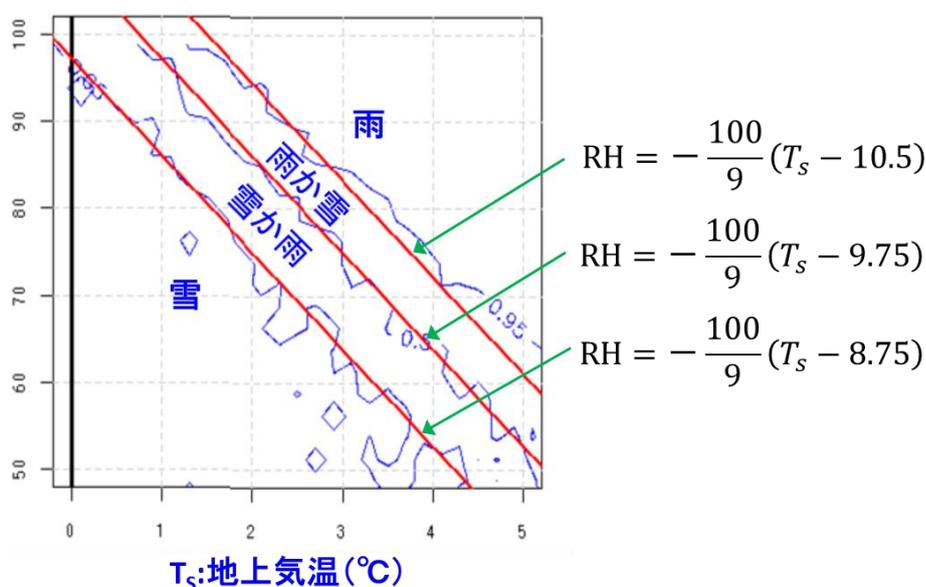


図 3-6 地上気温と相対湿度による雨雪判別チャート（古市豊，松澤直也，2009）

4. 精度評価

4.1 気温分布

気温分布の精度評価はアメダス観測値と同観測地点を含むメッシュの推計値の比較により行う。しかし、そのままの評価は観測地点から近いメッシュの精度に限定される。推計気象分布が観測地点から離れた地域の気象状況を示すことが特徴であることを考えると、観測地点から離れたメッシュの評価をするべきである。そこで、観測地点を含むメッシュにおいて当該地点のアメダス観測値を用いずに近隣のアメダス観測値のみで推定した検証用の値を別途作成し、これを当該アメダス観測値と比較することにより、観測地点から離れたメッシュの精度を類推するという手法をとっている。なお、推定する値はメッシュの値であり、観測地点とは高度が異なるため、アメダス観測値に（アメダス標高－メッシュ標高）×気温減率（0.006°C/m）の補正を行ったうえで比較している¹²。図 4-1 は 2018 年 1 月～2019 年 8 月にかけて、実際に公開した推計気温分布に関する月別の全地点の RMSE と BIAS である。2019 年 2 月の途中で気温分布の改良が行われており、それ

前は改良前、以降は改良後の値である。気温分布の RMSE は冬季に大きく夏季に小さくなる傾向がある。これは、冬季は放射冷却現象による気温の変動が大きいため誤差が大きくなりやすいことによる。改良前後を同じ月で比較すると RMSE は小さくなり、精度向上していることがわかる。BIAS については、改良前はやや負の値となる傾向があったが、改良後はほぼ 0 となっている。

さらに、2017 年の 1 年間において、それぞれ「改良前」と「改良後」のプログラムにより気温

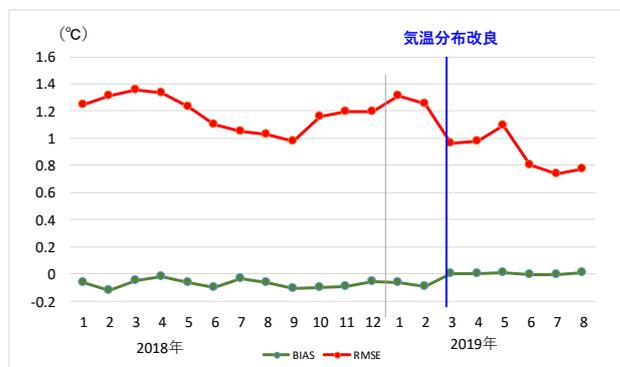


図 4-1 気温分布の月別 RMSE と BIAS

¹² 気温減率が典型的な値ではない場合（例えば逆転層が存在するような状況）では必ずしも適切とは言えないが、総合的には補正した方が補正しない場合より整合する。

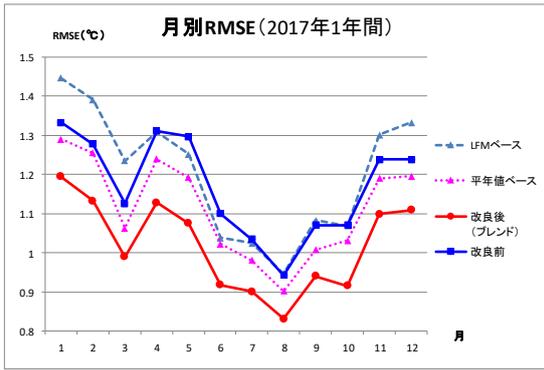


図 4-2 気温分布改良前後の精度評価 (月別 RMSE)

分布を作成する実験を行い、結果を比較した。図 4-2 は改良前後の精度評価 (月別の RMSE) である。また、「改良後」はブレンドを行う前である LFM ベース、平年値ベースの気温分布を単独で評価した結果も示している。これによると、平年値ベース気温分布は単独でも改良前を上回っており、特別拡張版平年値により日中と夜間の違いを考慮した効果があることがわかる。一方、LFM ベース気温分布は単独の場合、春から夏にかけては改良前を上回ることもあるが、冬季を中心に改良前より悪化する。LFM は移流などその時の気象状況の効果がある程度取り込めることが改良につながる可能性がある一方、放射冷却効果などの表現は苦手であることが悪化の一因と考えられる。平年値ベース気温分布と LFM ベース気温分布をブレンドしたものが改良後の気温分布であり、改良前と比べると年間 RMSE で約 0.15 °C (改良前の 13 %) の改善となり、平年値ベース、LFM ベース単独の気温分布と比べてもかなり大きく改善している。これは 3 章に書いたようにブレンドする際により気象状況に合致した方の割合を多くしているという効果が寄与しているものと思われる。

4.2 天気分布

天気分布の精度評価は、目視で天気を判別する有人の地上気象観測地点において、同観測地点を含むメッシュにおける推計値と目視観測 (地上気象観測原簿 (気象庁:気象観測統計指針第 2 部) の天気記号) を比較することにより行う。目視観測の天気には多くの種類があるが、天気分布と比較

するため以下のように大きく分類する。

- 「晴れ」 : 快晴, 晴, 薄曇
- 「曇り」 : 曇
- 「雨」 : 霧雨, 雨, しゅう雨, 着氷性の雨, 着氷性の霧雨
- 「みぞれ」: みぞれ
- 「雪」 : 雪, しゅう雪, 霧雪
- 「その他」: あられ, ひょう, 凍雨, 煙霧, 砂じん嵐, 高い地ふぶき, 霧, 細氷, もや, 雷

また、天気分布では雨雪判別に気温分布を用いているが、評価用の天気の出力には、通常気温分布ではなく、当該地点の気温観測値を用いずに周囲の観測値で作成した検証用気温を用いている。通常気温分布において、観測地点直上のメッシュでは気温観測値が (3-2) 式に従って大きく重み付けされ、ほぼ観測値そのものに近くなっていることから、観測地点から離れたメッシュにおける天気の精度を評価するためには上述のように作成する検証用気温を用いることが妥当である。また同様の理由で、この後記述する気温分布改良が天気分布に与えるインパクトを見るには、当該地点の観測値が反映されていると改良前後の差が出ないので評価できない。

図 4-3 に 2017 年 1 年間における天気分布と目視観測の天気出現率の比較を示す。天気分布は目視観測と比べると「晴れ」の頻度がやや少なく、「曇り」と「雨」がやや多いが全体的なバランスはとれている。

図 4-4 に同期間の天気分布の天気別の目視観測の出現頻度を示す。まず、晴れ／曇りに関しては、天気分布が「晴れ」の場合の適中率は高いが、「曇り」の場合は目視観測で約 28 % が「晴れ」となる。これは、目視観測では最大で雲量 8/10 まで「晴れ」とすることや「薄曇り」を「晴れ」の範疇に含めている影響が大きい。

次に降水の有無に着目すると、天気分布が「曇り」で目視観測が「雨」や「雪」である場合は 8 % 程度あり、解析雨量に表現されないような弱い降水が観測されていると考えられる。天気分布が降水あり (「雨」, 「雨または雪」, 「雪」) の場合、それぞれ 3 割近い頻度で目視観測は降水なし (「晴

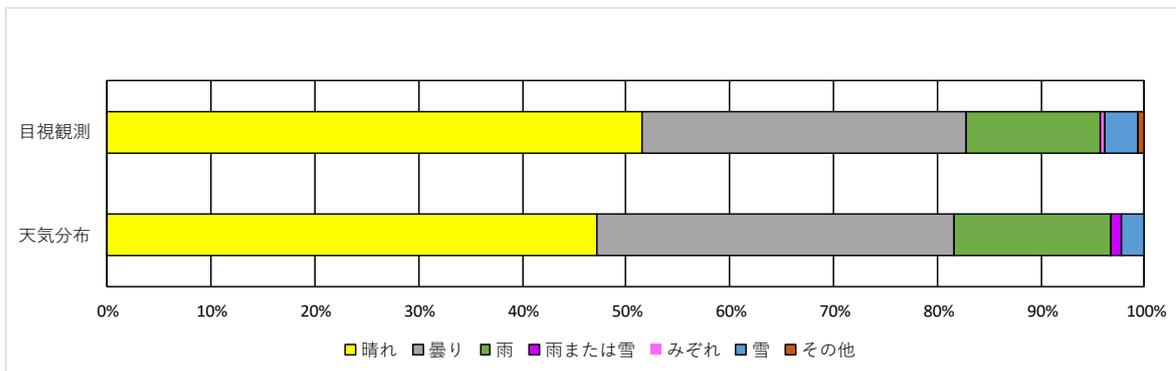


図 4-3 天気分布と目視観測の天気出現率の比較 (2017 年 1 年間, 気温は改良前)

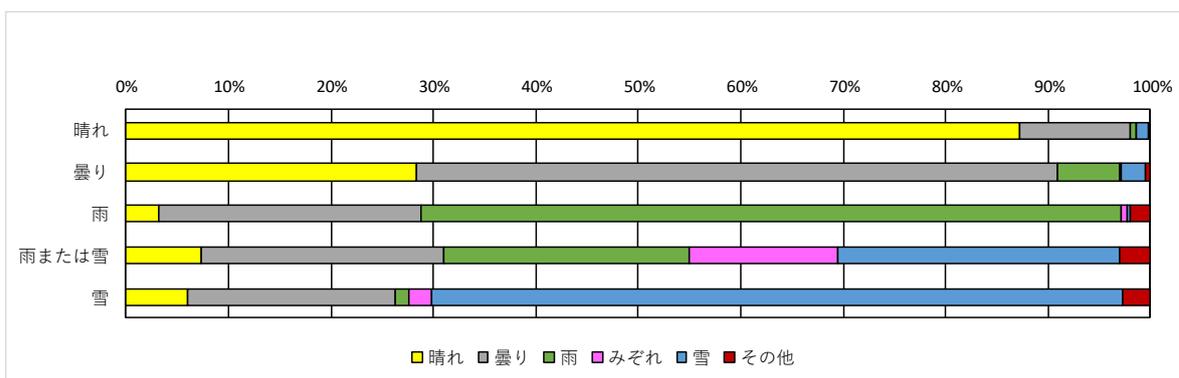


図 4-4 天気分布の天気ごとの目視観測の天気出現率 (2017 年 1 年間, 気温は改良前)

れ」や「曇り) となっており, 降水の「空振り」の頻度が多く見える。これは非降水エコーが解析雨量に反映されている影響もあるだろうが, 3.2.1 に書いたように天気分布は前 1 時間の情報も含めて表現している一方, 地上気象観測は当該時刻の情報であるので, 両者を比較した場合時間的なずれに起因する差が大きくなることに留意する必要がある。

最後に天気分布, 目視観測共に降水がある場合の降水種別に着目すると, 天気分布が「雨」と「雪」の場合は 90 % 以上推定どおりとなっている。天気分布が「雨または雪」の場合は目視観測で「雨」と「雪」が同程度出現しており, 図 3-6 の判別チャートの分類に沿った形となっている。一方, 天気分布が「雨または雪」の時に目視観測が「みぞれ」である場合も一定程度ある。このことから見ても天気分布の「雨または雪」は基本的には「雨」と「雪」が確率的に同程度であることを示すが, 「みぞれ」の場合も含むと解釈するのが妥当である雨雪判別については, 2019 年 2 月の気温分布改良の影響を受けている。このため, 2017 年 10 月

～2018 年 5 月の期間において, 改良前後の気温分布を用いてそれぞれ天気分布を作成する実験を行い, 気温分布改良のインパクトを調べた。ここで雨雪判別の精度を示す「有効一致率」と呼ぶ指標を導入した。天気分布の「雨」, 「雨または雪」, 「雪」, 目視観測の「雨」, 「みぞれ」, 「雪」に対して表 2 のような得点を設定し,

$$\text{有効一致率} = \frac{\text{得点の合計}}{\text{総件数}}$$

により定義する。このような得点を与える理由は, 天気分布において「雨または雪」と推計する場合, 雨と雪の 2 択を放棄して確率的に同程度としているため, 目視観測の「雨」や「雪」に対しては通

表 2 「有効一致率」算出における得点

		目視観測		
		雨	みぞれ	雪
天気分布	雨	1	0.5	0
	雨または雪	0.5	1	0.5
	雪	0	0.5	1

常の適中の半分の 0.5 とする。天気分布が「雨ま

たは雪」で目視観測が「みぞれ」の場合は、先述のように推計対象の現象と解釈できるので、通常の適中と同じ1とする。天気分布が「雨」や「雪」で、目視観測が「みぞれ」の場合、みぞれは雨と雪の混ざりものであるが、その片方しか適中させていないので0.5とする。

天気分布と目視観測が共に降水あり、観測された気温が0～6℃の状況に限定して、気温改良前後の気温別の「有効一致率」を図4-5に示す。気温が0℃～3℃の範囲で雨雪判別の精度が改良されている。これは、この範囲において気温改良後の方が「雪」と推定する回数が多くなっていることによる。

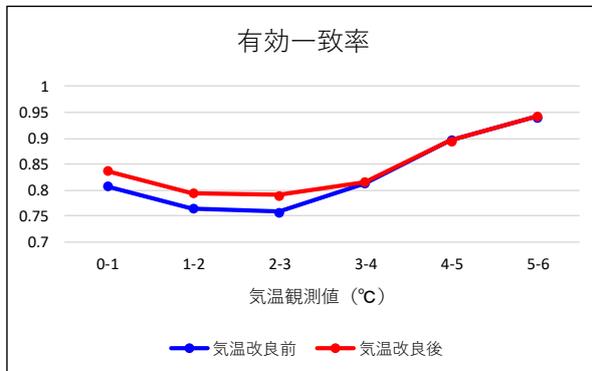


図4-5 気温改良前後の気温別「有効一致率」の変化

5. 利用上の注意

ここでは推計気象分布を利用するうえでの注意点について述べる。

まず、推計気象分布は約1 km メッシュを代表する値（平均的な値）であることに注意が必要である。このことは、特定の地点の値を類推するのに推計気象分布の特定のメッシュの値を利用するという使い方を否定するものではないが、場合によっては両者にずれが生じる可能性があることは意識する必要がある。例えば気温分布の場合、同じメッシュ内でも周囲が森の場合とアスファルトの場合では異なるだろうし、山頂のような特殊な場所は実際の地点とメッシュとで高度が異なることがあるので、そのまま代用することは無理がある。天気の場合も極端な例では富士山の山頂などは雲の上に出ていることもあり、メッシュの代表的な天気とは大きく異なるかもしれない。できれば推計気象分布は面的な広がりに着目

して、地図上で地域的な差や時間的な変化を見るような使い方が望ましい。どうしても特定の地点の値として使いたい場合は、その地点が周囲と比べて特殊な状況にないかどうか確認してから使うとよい。

次に、気温分布の GRIB2 形式データに格納されている値が0.5℃間隔の気温幅の下限値であることに注意が必要である。例えばあるメッシュに7.5℃という値が入っていた場合、推計値は7.5℃以上8.0℃未満であることを意味する。これは特に計算機で読み込んで処理する場合に注意が必要で、例えば気温30℃以上の領域を表示する、といった使い方をする場合は便利であるが、単独の値としてそのまま用いると実際の気温よりも若干低い値になる可能性があるため、+0.25℃のバイアス補正をした上で用いることが望ましい。

推定値であるがゆえに誤差があることにも注意が必要である。気象状況によっては図4-1に示した平均的な値よりも誤差が大きくなることもある。気温分布の場合、周辺の観測地点の値から当該メッシュの値を類推するという手法をとっているため、この手法が通用しないような気象状況になると誤差が大きくなる。典型的な例として図5-1に2017年2月17日7時（JST）の長野県付近の気温分布と同日6時の地上天気図を示す。この例のように元々冷気が滞留している場に暖気が流入する場合、暖気の影響を受ける地点と冷気が滞留したままの地点でコントラストが大きくなり、近隣の地点の観測値から推定するという手法が通用しない。この例では暖気の影響を受けた松本と冷気が滞留している上田では10℃以上の差があり、周辺では距離に応じて観測値の傾向が配分されている。実際には暖気の影響を受けている領域や冷気が滞留する領域がより明瞭な形で分布しているものと思われる。

他に、近隣の気温の傾向を適用することが難しい気象状況としては、局所的な降水による気温低下、放射冷却効果の地域による違い（ある程度はメッシュ平年値に反映されている）、春先に一部地域のみに残雪があることによる気温低下、等がある。

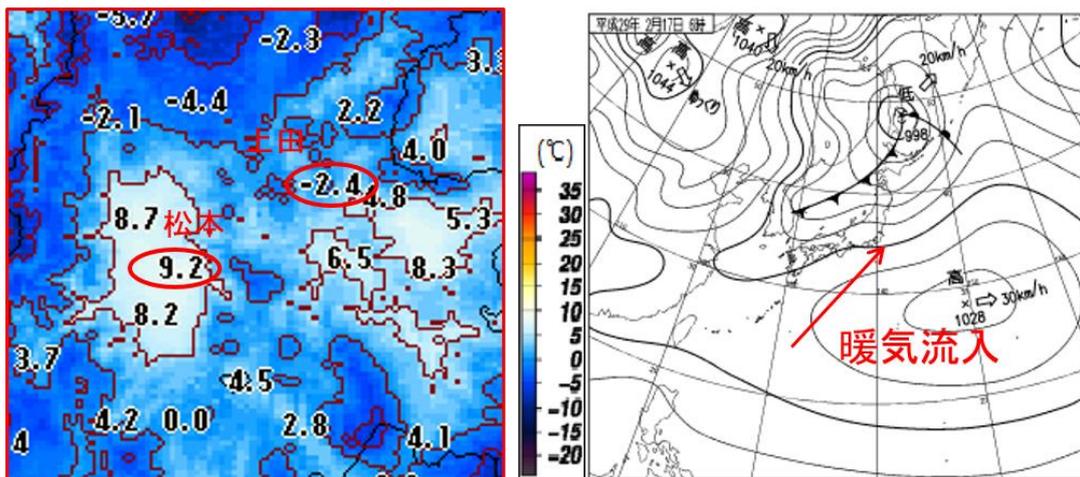


図 5-1 2017 年 2 月 17 日 7 時 (JST) の長野県付近の気温分布と 6 時の地上天気図

天気分布に特有な注意が必要な点が三つある。一つ目は、レーダー観測の非降水エコーや雨量計の異常値が現れた場合に、実際には降水が無くても「雨」、「雨または雪」、「雪」域として判別することがある点である。非降水エコーは 3.2.1 に記載した方法で軽減しており、レーダー観測や解析雨量作成の中でも軽減の努力が続けられている。しかし、非降水エコーには地表面からの反射によるグラウンドクラッター、地上に落ちてこない上空の水滴を観測した上空エコー、軍用機によるチャフ、鳥や虫が写る等いろいろあり、全ては除外できないのが現状である。この場合、実際には降っていないのに天気分布には雨や雪が表現されることになる。

二つ目は、気象衛星の観測が得られない場合に

おいて、一部の非降水域が「資料なし」となる場合がある点である。気象衛星の観測が得られない領域では雲量格子点情報も得られず、天気分布では晴曇判別ができない。特に春分期（4 月）及び秋分期（9 月）の 0 時（日境界）においては、気象衛星から地球を見た先に太陽が入るため、太陽自動回避により観測の一部をスキップすることにより、気象衛星画像に欠損が生じることがある。図 5-2 に例を示すように欠損領域では降水のある領域では「雨」、「雪」等が表示されるが、降水なしの領域では「資料なし」として出力される。

三つ目は、朝又は夕方に「晴れ」の領域が過剰に広く表示されることがある点である。図 5-3 に 2017 年 8 月 17 日 5 時～7 時の関東地方の天気分布を示す。6 時がこの注意点に該当する事例で、

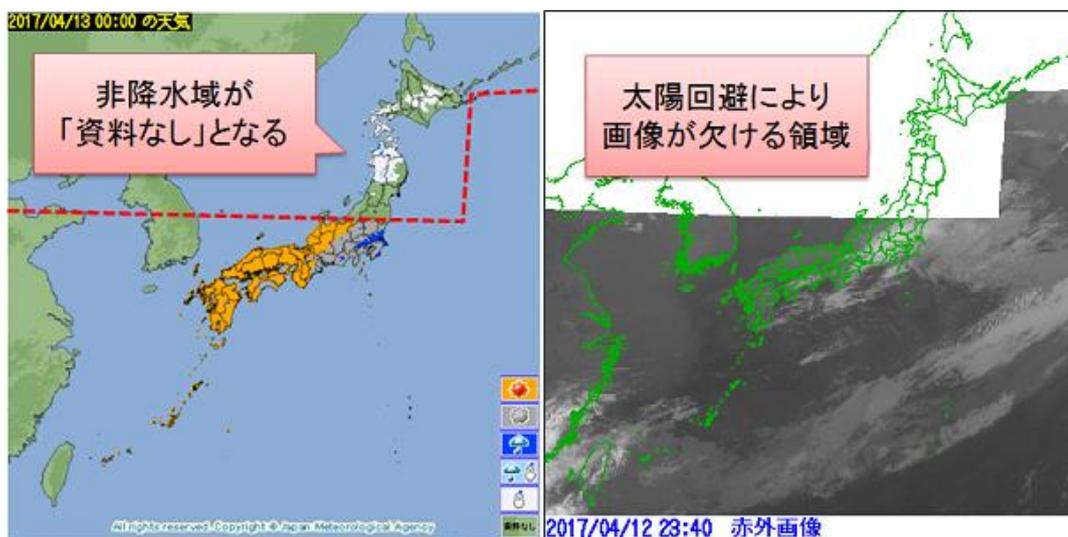


図 5-2 右：気象衛星画像の欠損 左：当該時刻の天気分布



図 5-3 2017 年 8 月 17 日 5 時～7 時の関東地方の天気分布

その前後の 5 時と 7 時と比べて曇域の分布が不連続となっている。短時間に広域にわたって雲の分布が大きく変動するのは、いかにも不自然である。これは、夕方や明け方に雲量格子点情報の雲量が過小に表現される場合がある（気象庁観測部 2007）ことによる。

6. おわりに

推計気象分布はさまざまな用途、分野での利用の可能性がある面的気象情報である。早期に開発が進み、ニーズも高い地上気温と天気から提供を開始しているが、他の要素についても開発を進めており、所要の準備・確認が整ったものから順次公開していきたい。

また、情報が 1 時間間隔という点について、高頻度化の強い要望をいただいている。これについても技術的な課題を解決したうえで、実現を目指したい。精度の面でも、天気分布における朝夕の晴れ曇り判別や降水の空振りが多いこと等課題が残っており、改良の努力を続けている。

将来的には気象ビッグデータや人工知能（AI）を活用して面的情報を作成することも検討している。開発者としては、今後面的情報の利用が主流になってくる中で、この推計気象分布は、その先駆的なプロダクトという位置づけになると考えている。

今後も利用者の便宜を第一に開発を進めていきたい。

参考文献

気象庁：気象観測統計指針第 2 部 気象官署で行う統計業務

気象庁：地域気象観測システム（アメダス）、
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/amedas/kaisetsu.html>

気象庁（2011）：地上気象観測指針

気象庁（2012）：メッシュ平年値 2010（CD-ROM）解説

気象庁観測部（2016）：配信資料に関する技術情報第 422 号～推計気象分布の提供開始について～、<http://www.data.jma.go.jp/add/suishin/jyouhou/pdf/422.pdf>

気象庁観測部（2007）：配信資料に関する技術情報第 247 号～北西太平洋領域の雲量格子点情報の配信開始について～、<http://www.data.jma.go.jp/add/suishin/jyouhou/pdf/247.pdf>

気象庁観測部（2016）：配信資料に関する技術情報第 447 号～推計気象分布（天気）の改善について～、<http://www.data.jma.go.jp/add/suishin/jyouhou/pdf/447.pdf>

気象庁観測部（2019）：配信資料に関する技術情報第 506 号～推計気象分布（気温）の改良等について～、<http://www.data.jma.go.jp/add/suishin/jyouhou/pdf/506.pdf>

国土交通省国土政策局国土情報課：国土数値情報ダウンロードサービス、<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>

石川宣広（2018）：ガイダンス，平成 30 年度数値

- 予報研修テキスト, 気象庁予報部, 106-116.
- 後藤尚親 (2017) : MSM ガイダンスの特性の変化,
平成 29 年度数値予報研修テキスト, 気象
庁予報部, 56-60.
- 総務省統計局 : 地域メッシュ統計について,
https://www.stat.go.jp/data/mesh/m_tuite.html
- 古市豊, 松澤直也, 2009: 最大降雪量ガイダンス.
平成 21 年数値予報研修テキスト, 気象庁
予報部, 27-38.
- 宮城仁史・入口武史・佐藤大輔・熊谷小緒里・
白石瞬・木川誠一郎 (2013) : 解析雨量・
降水短時間予報・降水ノウキャストの改善,
平成 24 年度予報技術研修テキスト, 気象
庁予報部, 102-115.
- Cesaraccio, C., Spano, D., Duce, P., & Snyder, R. L.
(2001) . An improved model for determining
degree-day values from daily temperature data.
International journal of biometeorology, **45** (4),
161-169.
- Tokuno, M., 2002: Advanced Satellite Cloud Grid
Information Data. Meteorological Satellite
Center Technical Note, **40**, 1-24.