

## 第4章 降水短時間予報の改善

### 4.1 はじめに

本章では、降水短時間予報における実況補外予測のうち、2016年3月24日06UTC初期値からルーチン化された地形減衰処理について解説する。

### 4.2 降水短時間予報処理の概要と変更点

降水短時間予報は、実況補外予測と数値予報の降水予測を組み合わせてプロダクトを作成している。実況補外予測の大まかな処理を次に示す。

- a. 初期時刻の降水強度の解析( 解析雨量)
- b. 降水域の移動速度の推定
- c. 実況による降水強度変化量の推定
- d. 数値予報降水量による降水強度変化量の適用
- e. 地形による降水強度強化量の推定
- f. 地形による降水強度減衰量の推定(地形減衰処理)

処理 ab は“ 実況補外 ” の名の由来となる基本的な処理であり、これらによって降水域の移動を予測する。処理 cdef はいずれも、処理 ab で予測された降水強度の時間変化を考慮する処理である。処理 ef は、単峰状の山を考えると、それぞれ降水流入側の強化、山頂通過後の減衰、に関する処理である。処理 ce は宮城ほか(2012)を、処理 d は熊谷(2015)を参照されたい。

今回の変更点は処理 f、地形減衰処理に関するものである。この処理はさらに二つへ大別される。

- g. 山越え可否の判定
- h. 山越え減衰処理

処理 g は、降水が山頂を通過できるか否かを判定するもので、冬季日本海側の背の低い降水など、山頂に達する前に降水域が消散するような場合を扱う処理である。処理 h は、処理 g で通過可能と判定された降水域が具体的にどの程度減衰するかを扱う処理である。今回の変更では、地形減衰処理の基本的な構成は踏襲し、その実現方法を変更する。この処理の対象となるのは、基本的に山の風下における弱い降水である。

### 4.3 地形減衰処理の概要

本節では変更後の地形減衰概要を示す。4.3.1 項、4.3.2 項、4.3.5 項は処理 gh で共通である。

#### 4.3.1 格子・風向による層別化

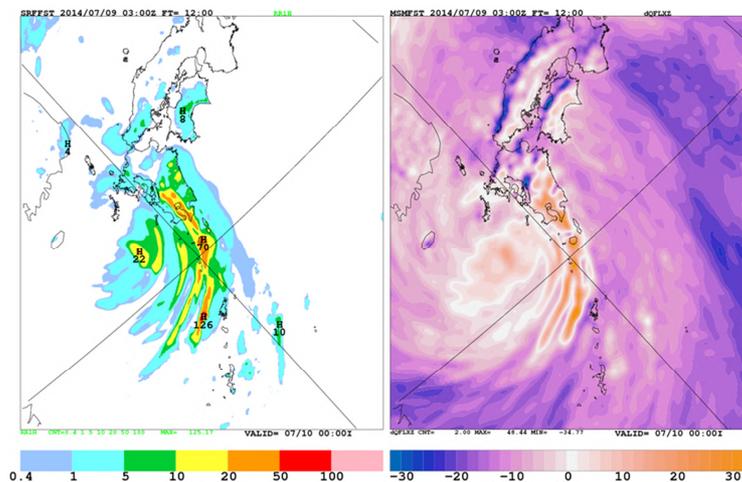
地形減衰は降水域と地形との位置関係によって特性が変化すると想定される。このため、地形減衰処理では20km格子ごとに、風向によって16方位でパラメータを層別化する。ただし、予測特性が隣接する風向層によって急変することは好ましくないため、各風向層は、データに対し重み関数  $q(d,c) = \max(0, 1 - 2 / |d-c|)$  を与えてパラメータ推定を行う。ここで、 $\theta$  は円周率、d は風向[rad]、c は各層の基準風向[rad]である。これによって、隣接する風向層間で予測特性の緩やかな変化が期待される。予測時は、重み関数によって各風向層の予測値を加重平均する。

---

\* 蟻坂 隼史(気象庁予報部予報課)

### 4.3.2 地形減衰の代表変数

地形減衰では、山頂通過後における水蒸気供給の程度によって挙動が支配されると考えられる。予報作業では特定気圧面(または高度面)の水蒸気分布を確認することが多いが、地形減衰は地形の影響を強く受けるため、気柱の水蒸気量を考える方が有益と考えられる。ここでは、“水蒸気量 + 水蒸気の水平流入量 - 飽和水蒸気量”の鉛直積算値を代表変数(以下、「RQ」)として扱う。RQの各成分はそれぞれ、可降水量・水蒸気の水平流入出の収支・飽和可降水量に対応する。RQの物理次元は降水量と同等であり、値が大きいほど湿潤を、小さいほど乾燥を表し、正の場合は概ね降水量と一致する。第4.1図に、メソモデル(以下、「MSM」)の2014年7月9日03UTC初期値の12時間後の予測結果を例示する。この時刻では台風中心が九州西海上に位置し、九州南部では南風成分が卓越している。MSMの1時間降水量から、九州南部では強い降水が卓越する一方で、山地の下流に当たる九州北部で降水は減衰していることが分かる。降水量は負値をとらないため、無降水域間の差異を判断することが難しいが、RQは強い減衰の期待される領域を負値の程度で判断可能である。地形減衰処理では、降水短時間予報初期時刻における最新のMSMからRQを計算して利用し、降水量が正の場合は降水量に置き換える。



第4.1図 MSMの予測結果

左: 1時間降水量、右: RQ、 2014年7月9日03UTC初期値の12時間後の予測結果

### 4.3.3 山越え可否の判定

移動降水強度・標高差(降水の移動経路のうち最大標高 - 移動位置の標高)・RQの3変数を独立変数、解析雨量 $\geq 0.2\text{mm/h}$ で二値化したものを従属変数として、定数項を含むロジスティック回帰を行う。ここで、判定処理では通過可能か否かの二値を目的とするが、ロジスティック回帰は確率値を予測する。このためさらに、確率値を二値に変換する最適な確率閾値を推定する。最適な確率閾値推定の具体的な手続きは付録4.Bに示す。

### 4.3.4 山越え減衰処理

移動降水強度・標高差・RQ・経過時間(地形強化域通過時刻からの時間)から、降水強度の時間変化を次のように定式化する。

$$\text{降水強度}(t+dt) = (\text{降水強度}(t) - w_0 * RQ) * \exp(-w_1 * dt) + w_2 * \text{標高差} + w_0 * RQ$$

tは初期時刻、dtは経過時間、w0,w1,w2は推定パラメータである。推定パラメータは誤差二乗和の最小化を基準とする、最急降下法によって推定する。式は、移動する降水域の時間による減衰と移動位置の水蒸気量

による増減を表現するものである。

#### 4.3.5 パラメータの推定

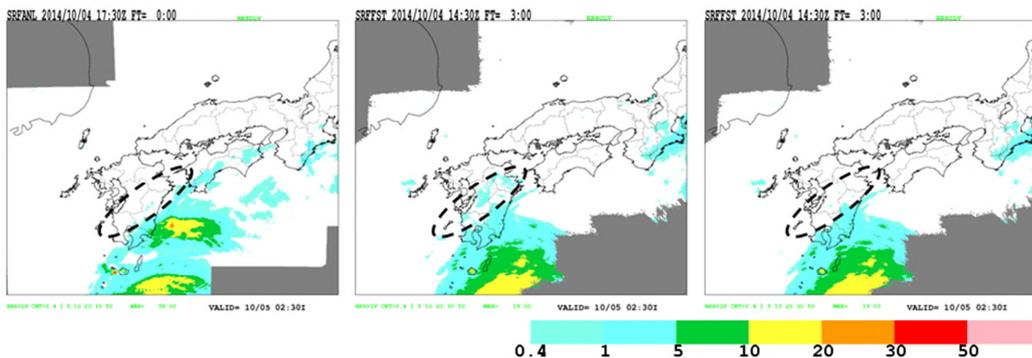
今回の変更では、2014年の1年分のデータをパラメータ推定に用い、2015年以降はこのパラメータを引き継いでオンライン推定(付録4.A参照)している。一般的な統計手法によってパラメータをオンライン推定することで、最適化基準が明確化されるとともに、季節・数値予報・解析値などの特性変化へ最適化されやすくなる。なお、降水短時間予報は自動プロダクトであり、予測特性の急激な変化は許容されないため、パラメータの更新速度は小さい。

#### 4.4 処理の変更前後の比較検証

##### 4.4.1 事例検証

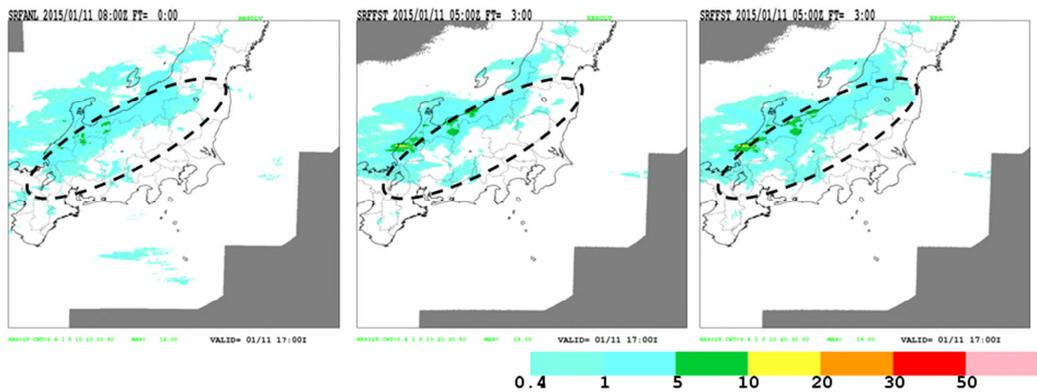
第4.2図に2014年10月4日1430UTCを初期値とした、3時間後(1730UTC)の検証結果を示す。変更前では内陸の降水が減衰せずに移流している一方で、変更後では的確に消散していることが分かる。変更後ではこのように、特に台風東側のような南風成分が卓越する状況において、従来と比べて風下側の降水域が狭くなる傾向があり、より現実に近い予測がなされる。

第4.3図に2015年1月11日0500UTCを初期値とした、3時間後(0800UTC)の検証結果を示す。変更前では解析雨量と比べて降水域が狭い傾向がある一方で、変更後では広い傾向がある。変更後ではこのように、冬型降水において、従来と比べて風下側の降水域を広げる傾向がある。この差の是非を事例によって判断することは難しいが、後に示す統計検証では精度改善を確認している。



第4.2図 2014年10月4日1730UTCの検証

左: 解析雨量、中: 変更前、右: 変更後。予測値は1430UTC初期値の3時間後(FT=3h)。単位はmm/h。

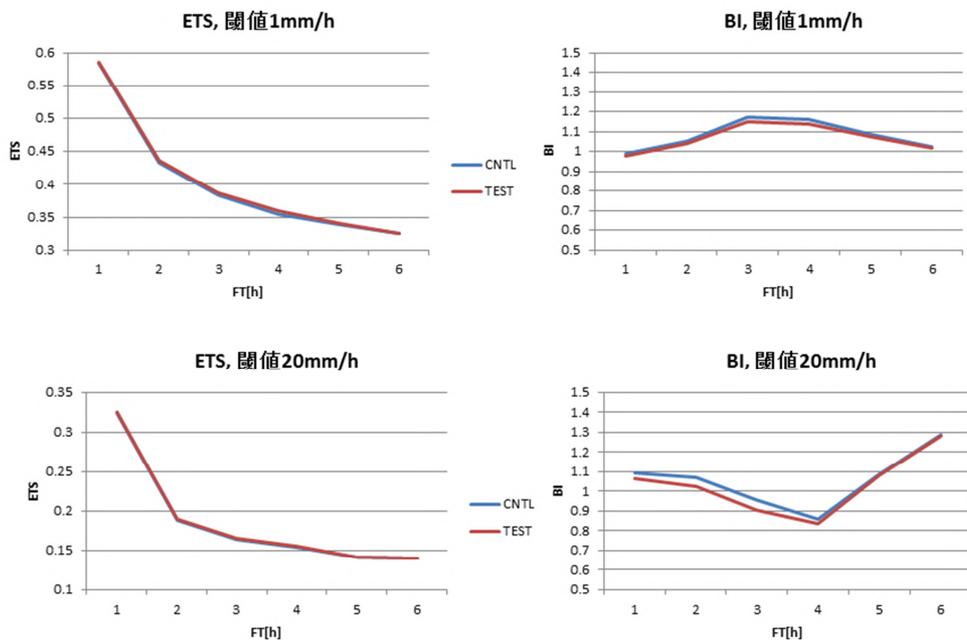


第4.3図 2015年1月11日0800UTCの結果

図の並びは第4.2図と同じ。予測値は11日0500UTC初期値のFT=3h。予測値はいずれも11日0500UTC初期値のFT=3h。

#### 4.4.2 統計検証

解析雨量を真値として、2014年6月1~30日(前線など)、10月1~12日(台風)、2015年1月1~31日(冬季)、5km格子陸上領域における統計検証結果を第4.4図に示す。2014年はパラメータ推定の従属期間であるが、推定パラメータの時間変化は小さいことから大きな問題はないと考える。閾値1mm/h、20mm/hともに、バイアスコア(以下、「BI」付録4.A参照。)が減少し、エクイタブルスレットスコア(以下、「ETS」付録4.A参照。)が増加していることから、従来よりも予測頻度を抑え、全体として予測精度を改善している。特に、閾値1mm/hでは予報時間の3~4時間目を中心にBIも1に近づき、より適正な予測頻度となっている。これらから、処理の変更により、期待通り弱い降水を中心として改善されることが分かる。



第4.4図 解析雨量を真値とした5km格子平均値の陸域による統計検証

期間は2014年6月1~30日、2014年10月1~12日、2015年1月1~31日。上段は閾値1mm/h、下段は閾値20mm/h。左列はETS、右列はBI。各グラフの横軸は予報時間(FT)、縦軸は指標で、青線が変更前、赤線が変更後。

## 4.5 まとめ

降水短時間予報における実況補外予測のうち、地形減衰処理の改良を行った。統計的な最適化を前提として処理を構成するとともに、代表変数の導入や風向・格子による特性差を考慮した結果、主に弱い降水について降水予測が改善された。

## 付録4

### 4.A 用語

エクイタブルスレットスコア(高坂・伊藤 2015)：大きいほど予測精度が高いと言え、1が完全予報である。

バイアスコア(高坂・伊藤 2015)：1に近いほど予測頻度が適正と言え、1より大きいと予測頻度過大、1より小さいと予測頻度過小を表す。

オンライン推定：逐次推定(更新、学習)などとも言う。対象となるパラメータをデータが与えられる度に推定する方法を指す。

### 4.B ロジスティック回帰の予測確率値を二値化する確率閾値の推定手順

確率値を二値化する際、降水量の精度検証でしばしば用いられる ETS を最適化基準とし、これを最大化する確率閾値のオンライン推定方法を考える。長期間の ETS を最大化することが理想的であるものの、逐次与えられるデータでこれを直接実現することは難しい。一方、与えられたデータにおいて、任意の確率閾値について ETS を計算することは容易である。これらから、逐次与えられるデータの ETS を最大化する確率閾値について、誤差二乗和を最小化する問題を設定する。具体的な手順を次に示す。

1. 確率閾値  $th = w_0 * \cos(\text{季節} + w_1) + w_2$ 、 $w = \{w_0, w_1, w_2\}$  を推定パラメータとする。
2. データ(予測確率値、解析雨量)から、ETS を最大とする確率閾値  $th_{opt}$  を計算する。
3.  $w(t+1) = w(t) - e * (th(t) - th_{opt}) * dth/dw$  によって、推定パラメータを更新する。t は時刻、e は更新速度を規定する時定数、 $dth/dw$  は  $th$  の  $w$  による微分である。
4. データが与えられる度、手順 2、3 を繰り返す。

なお季節変数は、これを含めない予備調査で明らかな季節変動が見られたために導入した。季節変動を推定パラメータに含めることで、時定数を小さくしても季節変動を表現することが可能となり、安定した推定が可能となる。

## 参考文献

熊谷小緒里, 2015: 降水短時間予報の改善. 平成 26 年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 87-93.

高坂祐貴, 伊藤享洋, 2015: 数値予報研修テキストで用いた表記と統計的検証で用いる代表的な指標. 平成 27 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 136-140.

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, 2012: 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, 108-121.