

第3章 解析雨量・降水短時間予報・

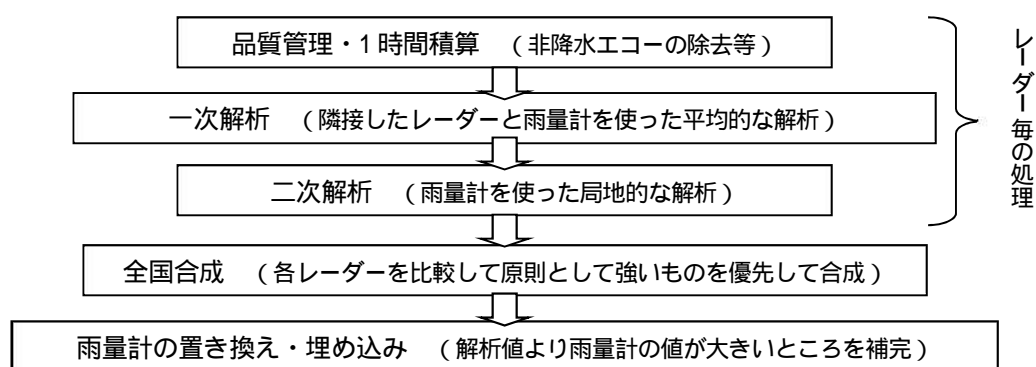
降水ナウキャストの改善*

3.1 解析雨量の改善

解析雨量は、正確だが観測網が粗い雨量計観測と、面的に細かい観測値が得られるが、電波を使った間接的な観測であるため精度が不十分なレーダー観測の両方の利点を生かして、面的にきめ細やかで正確な雨量推定値が得られるように開発されたものである。

解析雨量の処理は大まかに、第3.1.1図に示すとおりである。この項では解析雨量の処理及び使用する観測データについて、平成18年以降に大きく改良した点を中心に解説する。

なお、処理の詳細については平成18年度量的予報研修テキストも参照されたい。



第3.1.1図 解析雨量の処理の流れ

解析雨量ではレーダー毎に雨量解析を行った後に全レーダーを合成する。

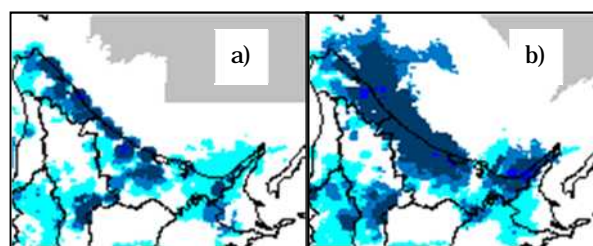
3.1.1 使用する観測データに関する変更

(1) 国交省レーダ雨量計の利用

平成18年11月から順次国交省Cバンド[†]レーダ雨量計(以降、レーダ雨量計と呼ぶ)の利用を開始し、平成20年3月からは26サイトある全てのレーダ雨量計を解析雨量の作成に利用している。これにより、弱い雨のときなどに立地条件によって気象庁レーダーのみでは捉えにくい北海道北東部の降水なども捉えられるようになった(第3.1.2図)。

(2) 5分間隔気象庁レーダーデータの利用

使用する観測データのうち、気象庁レーダーの観測間隔が平成21年6月に10分から5分に短縮された。



第3.1.2図 レーダ雨量計の効果

a)はレーダ雨量計を合成しない解析雨量で、b)は合成した解析雨量。北海道東部の雨域が広がっているのがわかる。

* 宮城 仁史、入口 武史、佐藤 大輔、熊谷 小緒里、白石 瞬(気象庁予報部予報課)、木川 誠一郎(気象庁観測部観測課観測システム運用室)

[†] レーダーの電波は波長により分類され、主にSバンド(10cm波)、Cバンド(5cm波)、Xバンド(3cm波)がある。波長が短いほど精細に観測できるが、降水等の減衰に弱い性質がある。

10分毎のレーダーデータと5分毎のレーダーデータはレーダービームの高度等が若干異なる領域があるため、品質を調査し平成22年5月から5分毎の観測の利用を開始した。10分毎のレーダーデータが5分毎になったことと、後述する積算方法の改善により1時間積算雨量の精度が向上した。

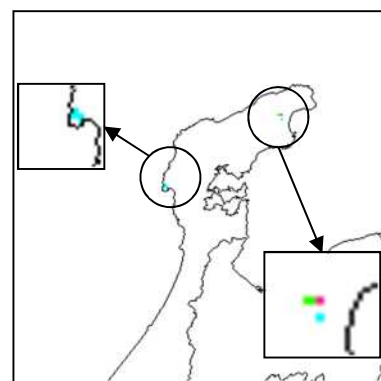
3.1.2 レーダーデータの品質管理・1時間積算

(1) 品質管理処理の変更点

レーダーは電波を発射し、目標からの反射波（正確には後方散乱波）を観測して降水量を推定している。反射波は必ずしも降水粒子に限るわけではなく、異常伝搬などにより、地形からの反射などを捉える場合があるため、地上では降水の観測がないのにレーダーでは降水を推定することや、地上の降水より強く推定することがある。このような異常値を全て解決することは困難であるが、軽減させる措置を施して解析雨量の算出に利用している。

(ア)クラッター除去処理の追加

平成18年3月に解析雨量の空間分解能を2.5km格子から1km格子相当に精緻化して以降、レーダーの地形反射（グランドクラッター）が原因と思われる過大な降水量の解析が増加した（第3.1.3図）。そこで、あらかじめグランドクラッターの出現しやすい格子として登録した格子のレーダーエコーを除去し、条件により近傍の格子のレーダーエコーを使って内挿する処理を平成19年1月から追加した。この処理の追加に伴い、あらかじめ登録してした格子のエコーを条件によって除去する（0mm/hにする）従来の地形エコー除去処理は行わないこととした。また、電波が山などの遮蔽物で遮られる領域では、通常レーダーエコーは観測されないが、非常に強い降水の場合には、レーダービームの広がりとの関係で、品質の悪い弱いエコーが観測される場合があるためこの処理で除去している。



第3.1.3図 グランドクラッターの例

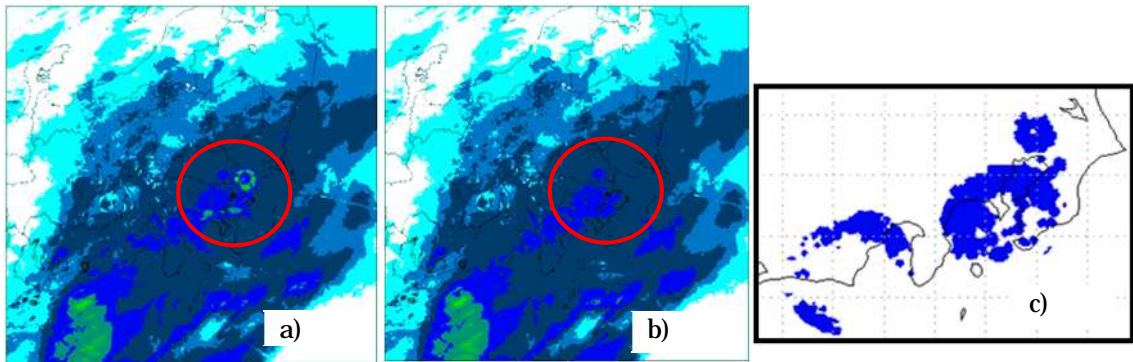
図の丸内には地物からの反射による非降水エコーが見られる。このときに能登半島では降水はない。

(イ) ブライトバンド軽減処理の導入

ブライトバンドは、上空の融解層（雪から雨に変わる層）からの反射波が通常よりも非常に強くなる現象で、数mm/h程度の降水が50mm/h以上の降水として観測されてしまうこともある。ブライトバンドは長時間、同じ場所にとどまる場合があり、雨量積算の誤差が大きくなる。また、警報の発表基準に用いられる土壌雨量指数や流域雨量指数は雨量積算の影響が大きく、ブライトバンドの軽減が求められた。

ブライトバンド軽減の方法は、数値予報(MSM)の気温情報から0の高度を求め、この高度付近のレーダーエコーを抽出する。しかしこれだけではブライトバンドではない領域が含まれる傾向にあるため、これらのエコーのうち、周囲より際だって強いエコーを求めてこれをブライトバンド領域と判定する。ブライトバンドと判定した領域は、周囲のエコーを重み付き内挿してエコー強度を推定する。ブライトバンド軽減結果を第3.1.4図に示す。

ブライトバンドを軽減する処理を平成24年1月から導入した。



第3.1.4図 ブライトバンド軽減結果

a)はブライトバンド軽減処理を導入しない場合の解析雨量、b)はブライトバンド軽減処理を導入した場合の解析雨量、c)はブライトバンド判定領域を示す。b)では赤円内の強い領域が除去されている。

(2) レーダー積算降水強度作成手法の改良

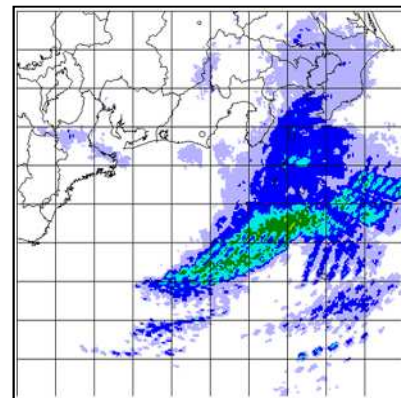
レーダーで観測したレーダーエコー強度は瞬間値である。レーダーデータをレーダー毎に1時間積算し平均する処理が1時間積算処理であり、積算することにより地上降水量と比較することが可能となる。

これまで、1時間積算降水強度（以下、レーダー雨量と呼ぶ）は、1時間内に観測されたエコー強度を単純に平均して作成していた。この方法は、レーダーの観測時間間隔の間に、降水域が大きく移動しないことを暗黙に仮定した方法であり、空間解像度に対して観測時間間隔が十分短い場合にはこの仮定は成立するが、空間解像度が1kmになったことによりこの仮定が崩れ、櫛の歯状を呈した実際の雨域の形状と異なる不適切なレーダー雨量が算出される事例が目立つようになった（第3.1.5図）。

また、このような積算値を用いて解析を行うと、雨量計の位置とレーダー雨量の分布の関係で、解析に悪影響を及ぼす場合がある（第3.1.6図）。

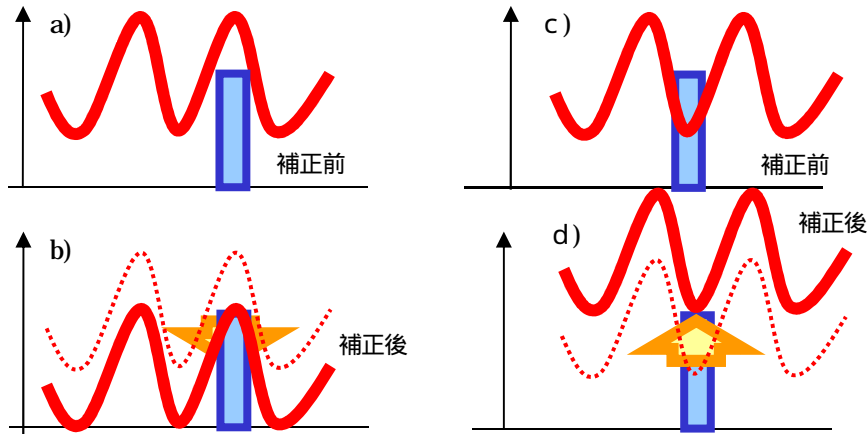
この現象を改善するため、以下の新たな積算方法を開発し、平成20年9月から導入した。1時間内のレーダー観測について、それぞれの観測時刻毎にレーダーエコーをひとまとまりで移動すると考えられる領域に分割し、そのまとまりごとに前後の観測時刻と比較することによって降水の移動状況を推定し、それぞれのエコーが移動した経路にそって観測された降水強度に応じた降水を補完・内挿して積算することとした。

この作業を60分前から対象時刻までの各観測時刻の間で行うことによりレーダー雨量を求める。レーダーの観測間隔が5分毎になったことに加え、新たな1時間積算方法を用いることにより、より精度の高いレーダー雨量が求まるようになった。



第3.1.5図 櫛の歯状のレーダー雨量

2006年4月2日の静岡レーダーのレーダー雨量。雨域の移動が速いため、単純に積算すると実際の雨域の形状とは異なる櫛の歯状のパターンが現れる。



第3.1.6図 「櫛の歯」状のレーダー雨量の解析雨量への影響

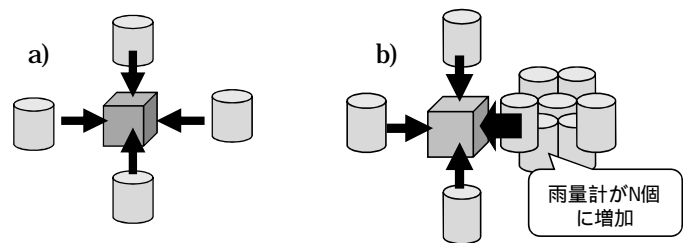
青い縦棒は雨量計の1時間積算雨量を、赤の曲線はレーダー雨量を示す。a)のようにレーダー雨量の多い部分に雨量計があると、レーダー雨量を雨量計に合うように補正するため、b)のように過小値ができてしまう。逆に、c)のようにレーダー雨量が多いところにあるとd)のような過大値ができてしまう。

3.1.3 二次解析の変更点

二次解析では一次解析で残った局所的なずれを補正し、より正確な降水分布を求めるため、雨量計を利用して局地的な雨量分布を求める。二次解析では、まず雨量計のある格子（以降、雨量計格子と呼ぶ）の雨量観測値と一次解析値をもとに全ての雨量計格子に対して一次解析値を補正する二次補正係数を計算し、次にこれらのうち近辺の雨量計の二次補正係数を利用した重み付き内挿によって陸上の全ての格子の二次補正係数を決定している。この時考慮している重みには、距離に応じて重みをつける「距離重み」、レーダーの電波の減衰を推測して雨量計格子と補正対象格子の減衰量が近いほど重みを大きくする「減衰比重み」、雨量計格子と補正対象格子のレーダー雨量値（一次解析値または仮の二次解析値）に近いほど重みを大きくする「レーダー雨量比重み」がある。求めた解析値を使い同じ作業を3回繰り返して最終的な二次解析値を算出する。

(1) 一様性重みの導入

二次解析で雨量計格子における補正係数から内挿で任意の格子の補正係数を求める時に、雨量計は一様に分布していることを仮定しているが、実際には地域によって偏りがある。例えば、第3.1.7図のa)のように分布が均質な状況では、それぞれの雨量計の影響が内挿された2次補正係数に等しく反映されるものと期待できる。しかし、第3.1.7図のb)のように偏った分布では、多数の雨量計がある場所の影響が2次補正係数により濃く反映されてしまい、極端な場合、雨量計が密にある狭い地域だけで2次補正係数が決まってしまうこともありうる。そこで、全ての雨量計が2次補正係数に均一に影響を与えるように、雨量計の分布に応じて1つの雨量計が与える影響を調整することとした。「雨量計からの影響」を定量的に表すために、雨量計の「支配面積」という概念を導入する。



第3.1.7図 偏った雨量計の配置

図の四角が対象格子で、円筒が雨量計。a)では4方向に1つずつ雨量計が分布しているが、b)では1方向に偏って分布している。

支配面積は、ある雨量計の雨量計格子を中心として周囲を4象限に分け、各象

限でその雨量計に最も近い別の雨量計までの距離を求めて4象限平均をとり、平均値の1/2の2乗により求

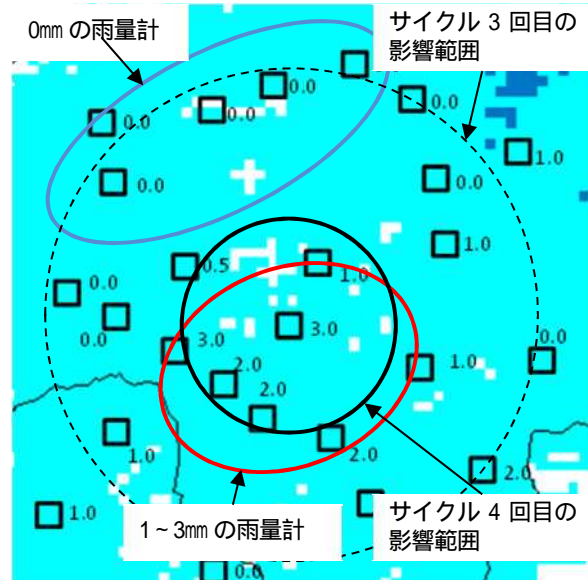
める。

支配面積の小さい雨量計の2次補正係数への影響を小さくするため、正規化した支配面積を用いて重み調整する。これを一様性重みと言い平成20年9月から導入した。

(2) 降雪等の弱い降水への対応

降雪はレーダーで捉えにくく、積算すると弱い降水が広がりメリハリのない分布になることがある。このような場合、二次解析で考慮されている重みの1つである、レーダー雨量比重みの影響が比較的大きくなり、遠くの雨量計の影響を受けやすくなる。また、雨量計で捉えている雨量も少なく、結果として少ない降水量に対する雨量換算係数が適用され解析雨量が小さめになる傾向がある。

二次解析では、「雨量計格子毎の補正係数の決定各格子への重み付き内挿」を3回繰り返して実施している。この際、繰り返しの回数が大きくなるにつれてより近傍の雨量計のみを使った重み付き内挿を実施し、全体の調和を維持しながら局地性も表現した二次雨量解析値を求めているが、降雪など弱い降水の場合は繰り返し回数を4回に増やし、4回目の解析でより局地的な解析を行うようにした(第3.1.8図)。強雨時の解析への悪影響をなくすため、4回目は3回目の二次解析終了時にレーダー観測範囲全体で10mm以上の雨量が解析されていない場合に実行する。この処理を平成24年6月に導入した。



第3.1.8図 繰り返し4回目の解析イメージ

四角は雨量計(数字は降水量)で背景はレーダー雨量(白が0mm/h、水色が0~1mm/h、青が1~2mm/h)。破線の丸が繰り返し3回目の影響範囲で、実線の丸が繰り返し4回目の影響範囲。3回目では北東にある0mmの雨量計が影響を受けてしまうため、4回目の繰り返しでは影響範囲を小さくし、近くの雨量計だけ影響するようにして解析を行う。

3.1.4 全国合成の変更点

全国合成では、レーダー座標系の二次解析値を緯度経度座標系に変換して全レーダーを合成している。平成18年11月よりレーダ雨量計を利用するようになったため、その合成方法を説明する。

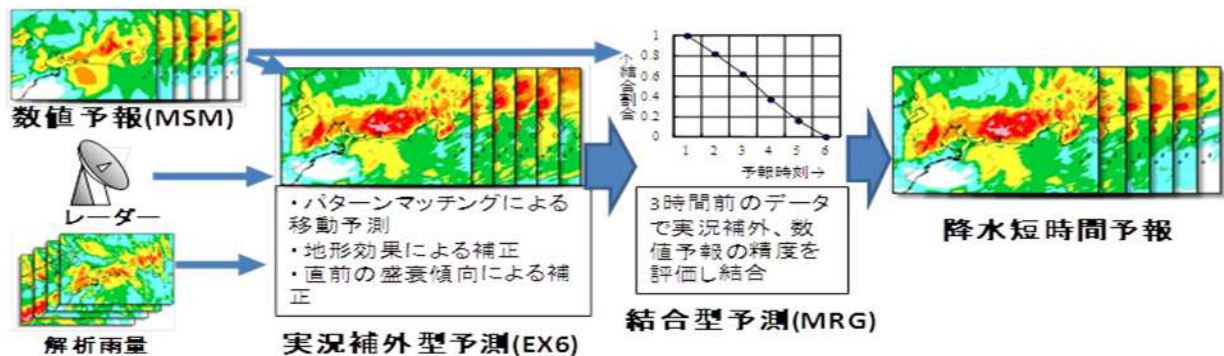
はじめに、気象庁レーダー(20サイト)、レーダ雨量計(26サイト)のそれぞれで、全国合成処理を実施し、それぞれで採用するレーダーを決める。複数のレーダーによるレーダー雨量が存在する格子は、基本としてレーダー雨量値の大きいレーダーを採用する。比較に二次解析値を使うと、レーダーサイトに近く品質の良いレーダーデータが採用されないこともあるため、気象庁レーダーはレーダー雨量を、レーダ雨量計はレーダー毎に若干性質が異なるため、一次解析で求めた補正係数のうち、高度に対する依存性を含まない補正係数(一次解析で得られる補正係数の一部、以降Faと呼ぶ)を乗じて比較し、気象庁レーダーの合成図とレーダ雨量計の合成図をそれぞれ求める。

次に、気象庁レーダーとレーダ雨量計を合成するが、両者では性質が異なるため、両者のレーダー雨量にFaを乗じて、気象庁レーダーとレーダ雨量計を1km格子単位で比較し、大きいほうのレーダーの二次解析値を採用して最終的な全国合成を作成する。

3.2 降水短時間予報の改善

降水短時間予報は、解析雨量等に基づく実況補外型予測（EX6）とメソ数値予報モデル（MSM）予測降水量から両者の降水予測精度に応じて予測を結合したもの（「結合予測（MRG）」と呼ぶ）で構成され、6時間先までの各1時間雨量を30分毎に予報している（第3.2.1図）。本項では平成18年以降の改良点について述べる。

なお、処理の詳細については平成18年度量的予報研修テキストも参照されたい。



第3.2.1図 降水短時間予報の概要

降水短時間予報は、解析雨量やレーダーなどの実況から予測した実況補外予測と、数値予報資料（MSM）を結合して6時間先までの1時間降水量を予測する。

3.2.1 実況補外型予測

実況補外型予測（以降、EX6と呼ぶ）は解析雨量から求めた実況の降水分布を使い、降水の移動ベクトル、地形による発達・衰弱などを求め、6時間分の予測値を作成する。

（1）予測初期値

予測初期値には解析雨量の解析過程で算出される雨量換算係数を初期時刻のレーダーエコー強度にかけ、雨量強度に補正した雨量強度合成値（瞬間値）を使用する。

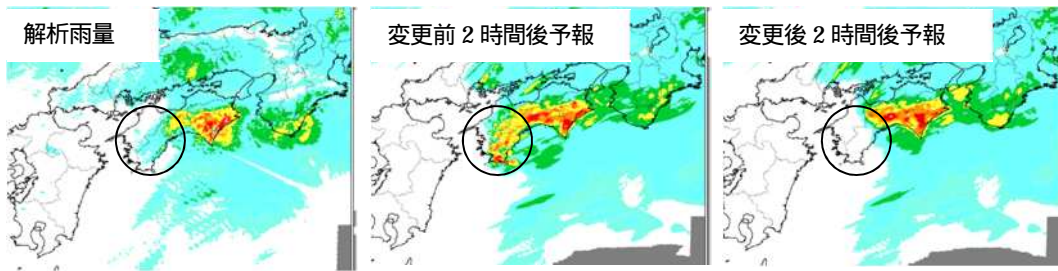
平成19年8月からは気象庁レーダーに加えて、国交省レーダ雨量計も予測初期値に加え始め、平成20年5月からは全26の国交省レーダ雨量計を使用するようになった。これにより、気象庁レーダーでは観測範囲の及ばない五島列島の西方の降水なども捉えられるようになった。

（2）移動ベクトル算出の変更点

移動ベクトルは、過去3時間の解析雨量を用いて降水域の移動をパターンマッチングにより捉え、代表的な移動の速さと向きを格子点毎に決定する（一般移動ベクトル）。また、10mm/h以上及び30mm/h以上の強雨が存在する場合には、強雨のみを取り出した降水分布を用いて強雨移動ベクトルを算出し一般移動ベクトルに埋め込んでいる。

従来、強雨ベクトルのマッチングには解析雨量（＝1時間積算値）を用いていたが、強雨域の動きは積算値より分布にメリハリのある瞬間値の方が捉えやすいことが分かったため平成20年9月から強雨移動ベクトルの算出には瞬間値を使うこととした。

第3.2.2図は移動ベクトルの改善例で、変更前は高知県で停滞していた強雨域が停滞しなくなった。



第3.2.2図 移動ベクトルの変更による改善例

図の丸で示した領域は、変更前は強雨域が残っていたが、変更後は残らずに移動するようになった。

(3) 地形効果の変更点

EX6 では、降水域が山を登る際に強まる「降水強化 (=地形性降水)」、山を越えた後に衰弱する「降水衰弱 (=山越え減衰)」及び山を越えられるか否かの「降水の山越え判断」の3つの手法を利用している。

この3手法の中で、平成18年以降大きな変更があった地形性降水について以下で説明する。

(ア) 地形性凝結量の算出

地形性降水を求めるには、まず気塊が地形に沿って上昇することで凝結が生じる格子を特定する必要がある。従来は、MSMの900hPaの風と気温(露点差は3度と固定)から標高差分の可降水量(=地形性可降水量)を求め、この可降水量が正であれば地形上昇によって凝結が生じるとしていた。一方、新手法ではMSMの地上と上空(950、900、850hPa)の風、気温、露点差及び高度(地上は気圧)を使い、上昇によって下層の気柱が凝結する量を地形性凝結量とするよう平成21年7月に変更した。

地形性凝結量(旧手法では地形性可降水量)が正の領域と重なっている降水域を地形性降水域とみなし、解析雨量を地形性降水と非地形性降水に分離する点は従来と同じである。

(イ) 地形性降水の変化

予想時刻における地形性降水量(予想地形性降水)は、初期時刻の非地形性降水量を $R_c(0)$ 、予想時刻の非地形性降水量を $R_c(t)$ として、下の式を基本としていた。

$$C(t) = R_c(t) / R_c(0)$$

$$\text{予想地形性降水} = \text{初期時刻の地形性降水} \times C(t)$$

ここで $C(t)$ は予報時刻 t における補正率である。

しかし、上記の方法は地形性降水の盛衰が非地形性降水の変化のみに依存すると仮定しているため、MSMの地形性降水の変化を十分に表現できないことがあった。そこで、平成24年3月より地形性凝結量の変化率を地形性降水の予想に利用することとした。新しい手法では、初期時刻における地形性凝結量を $C_{msm}(0)$ 、予想時刻における地形性凝結量を $C_{msm}(t)$ として、以下の式で算出する。

$$C(t) = R_c(t) / R_c(0) \times C_{msm}(t) / C_{msm}(0)$$

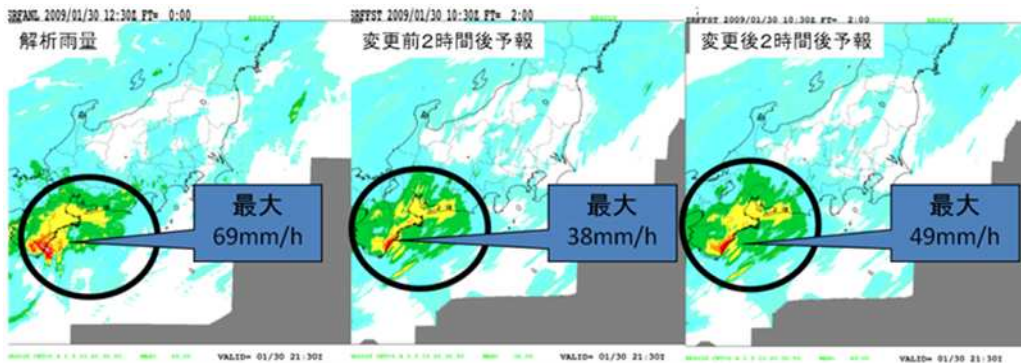
但し、 $C(t)$ には上限を設けており、初期時刻の地形性降水量が多いほど上限値を小さくしている。

$C_{msm}(t) / C_{msm}(0)$ は予報後半になるほど効果が大きくなるように設定している。また、MSMの精度によって効果が大きくなる時間が変化するようにしている。

(ウ) MSM降水量を用いた地形性降水の算出

従来は、予想地形性降水は実況の降水を基本として係数をかけ増減させてきたが、平成21年7月から新たにMSMの降水量も使い予想地形性降水を算出することとした。MSMの地形性降水量はMSMの予想降水量を地形性降水と非地形性降水に分離することで求める。分離の方法は、実況の降水量を分離する方法と同じである。

求めた MSM の地形性降水量は MSM の精度に応じて、(イ)で求めた予想地形性降水量と結合する。この結合して求めた地形性降水量をある予報時刻 t の地形性降水として移動してきた非地形性降水量に加算する。地形性降水の改善例を第 3.2.3 図に示す。

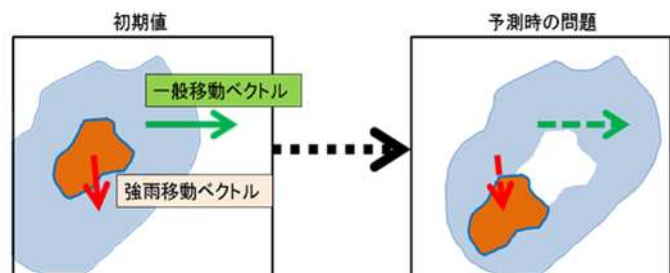


第 3.2.3 図 地形性降水の変更による改善例

変更後の予想の方が強い降水を予想し、解析雨量に近づいている。

(4) 直前の盛衰傾向の利用

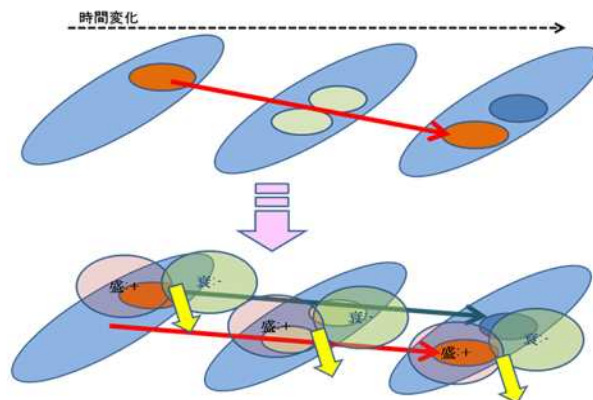
EX6 では降水系全体の移動予測を基本としているが、強雨域の動きが降水系全体の動きと異なることがある。強雨域のみ抽出した移動ベクトルの計算も行っているが、不自然な予測を防ぐために、一般移動ベクトルに強雨移動ベクトルを埋め込む際に平滑化を行っている(第 3.2.4 図)。このため、強雨移動ベクトルが一般移動ベクトルと大きく異なるときには、実際の強雨の動きを反映できない。



第 3.2.4 図 一般移動ベクトルと強雨移動ベクトルが大きく異なった場合の問題点

一般移動ベクトルと強雨移動ベクトルが大きく異なる場合にそのまま移動予測を行うと、降水予測の中に空白が生じてしまうために平滑化を行う。

一般移動ベクトルと動きが大きく異なるときの強雨の移動を改善するべく、平成 23 年 3 月から降水の盛衰を加味した予測を行う手法を組み込んだ。強雨移動ベクトルは、強雨域を直接移動させるが、盛衰を加味した予測は移動してきた降水域を強める(あるいは弱める)ことで、一般移動ベクトルと大きく異なる強雨域の移動を表現しようというものである(第 3.2.5 図)。



第 3.2.5 図 盛衰パラメータを利用した降水の移動予測イメージ

図の上段は、強雨域が南下する現象のイメージで、下段は、盛衰パラメータを利用した予測イメージ。降水系全体の動きは東進だが、強雨域は南下する場合においても、盛衰パラメータの南下を移動予測できれば、無理のない予測を行うことが可能である。

降水の盛衰を加味した予測手法は、始めに予測初期値の降水を過去へ追跡し、過去の降水と比較して降水の盛衰傾向を算出しパラメータ化する(盛衰パラメータと呼ぶ)。次に算出した 30 分ごとの盛衰パラメータ

の分布を用いて、盛衰パラメータ用の移動ベクトルを求める。最後に盛衰パラメータ用の移動ベクトルによって移動した盛衰パラメータと降水用の移動ベクトルによって移動した降水予想値を足し合わせることで降水の盛衰を表現する。

なお、盛衰パラメータは時間とともに信頼度が悪くなると考えられるため、徐々にパラメータの絶対値を小さくしていき、予測2時間後にはパラメータを0としている。2時間後の予報までは2分毎の瞬間値から計算するため、2時間後の予報まで盛衰パラメータが有効に作用する。

3.2.2 結合予測の改良

EX6 は初期時刻の降水域を移動・盛衰させて予測するため、短時間の予測の精度は良いが時間経過とともに精度が急速に低下する。一方で、MSM の雨量予測は目先の精度はあまり良くないが、予報後半でも精度の低下が小さい。両者の長所を生かすため、両者の精度を評価してEX6 と MSM の比率を決定し、EX6 と MSM の雨量予測を結合（以降、マージ処理という）するのが結合予測処理である。

精度の評価は、全国を13の領域に分けてEX6の3時間前初期値の3時間予測値と、MSMの現在時刻の予測値を、それぞれ解析雨量と比較して評価スコアを計算する。このスコアをもとにMSMの信頼度を決め、EX6の重みが予報後半で次第に低くなるような効果を考慮して結合する。

MSMの信頼度 r は、EX6の評価スコアを $D(EX6)$ 、MSMの評価スコア(誤差を示す指標で精度が良いほど小さくなる値)を $D(MSM)$ とすると次のように定義されていた。

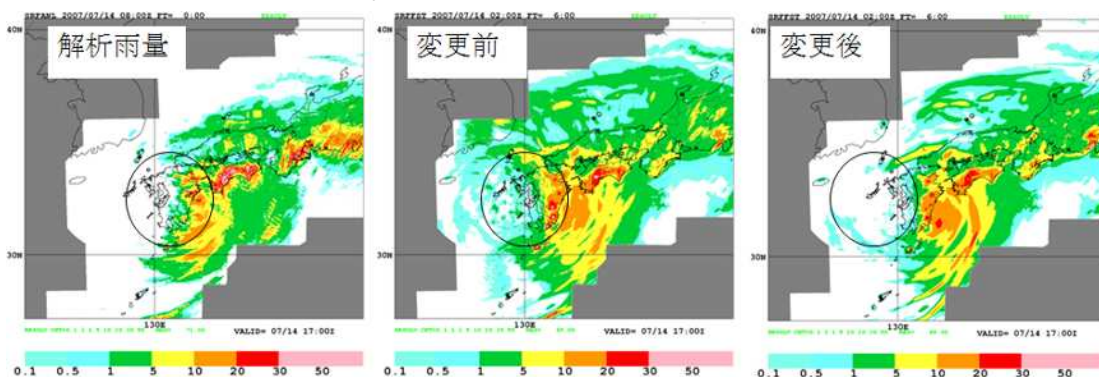
$$r = D(EX6)/D(MSM) - 0.5$$

(ただし、 r が0より小さい場合には0、1より大きい場合には1)

しかし、近年MSMの予報精度が向上したため、 r を求める式を平成19年10月に以下のように変更した。

$$r = D(EX6)/D(MSM)$$

以前の式ではMSMの精度がEX6の1.5倍以上良くなければMSMの信頼度が1にならなかったが、新しい式では精度が同じでMSMの信頼度が1になり、予報後半にEX6の比率を低下させる効果が得やすくなった。マージ処理の改善例を第3.2.6図に示す。



第3.2.6図 マージ処理の改善例

変更前は丸の領域付近で解析雨量に降水がないのに降水を予測していた。変更後は降水域が少なくなり解析雨量に近くなった。

3.3 降水ナウキャストの改良 ～盛衰予測の導入～

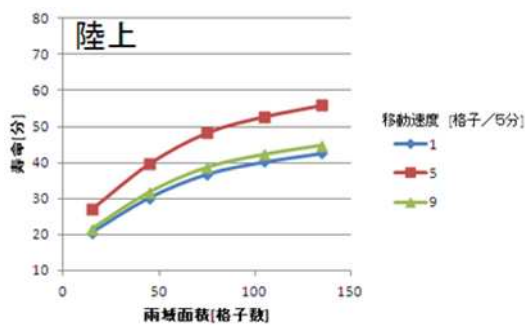
これまで降水ナウキャストは、雨域を移動させて予測値としていたが、地形性降水の予測機能を平成23年12月に導入し、雨雲の発達、衰弱を部分的に予測できるようになった。さらに、強雨域を含む雨雲の盛衰

予測を平成 24 年 5 月 9 日に導入している。

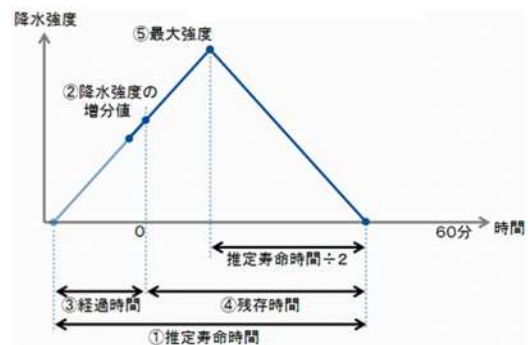
降水ナウキャストにおける雨雲の盛衰予測については、平成 23 年度予報技術研修テキスト（気象庁予報部、2012 年 2 月）においてその概念を解説している。ここでは、その詳細のうち、紙面の都合により、強雨域の盛衰予測について解説する。

3.3.1 既に存在している強雨域の盛衰予測

予測の初期値において既に存在している強雨域では、まず、雨域の面積及び移動速度から雨域の寿命を推定する。第 3.3.1 図に示すように、雨域の面積が広いほど寿命が長く、一方、停滞する雨域又は高速で移動する雨域では寿命が短くなる傾向がある。ここで、面積と移動速度の単位に使われている「格子」は降水ナウキャストの予測値における格子であり、格子間隔は約 1km であるので、5 格子 / 5 分の移動速度は約 17m/s に相当する。雨域の面積は、隣接する強雨域の面積の一部も加えて測定し、強雨域が単独で存在するときの寿命に比べて、強雨域が狭い領域に複数存在するときの寿命は長く予測される。この計算方式は、レーダー観測データを用いて小規模な強雨域の寿命を測定した結果に基づいて統計的に導いているので、±10 分程度の誤差がある。



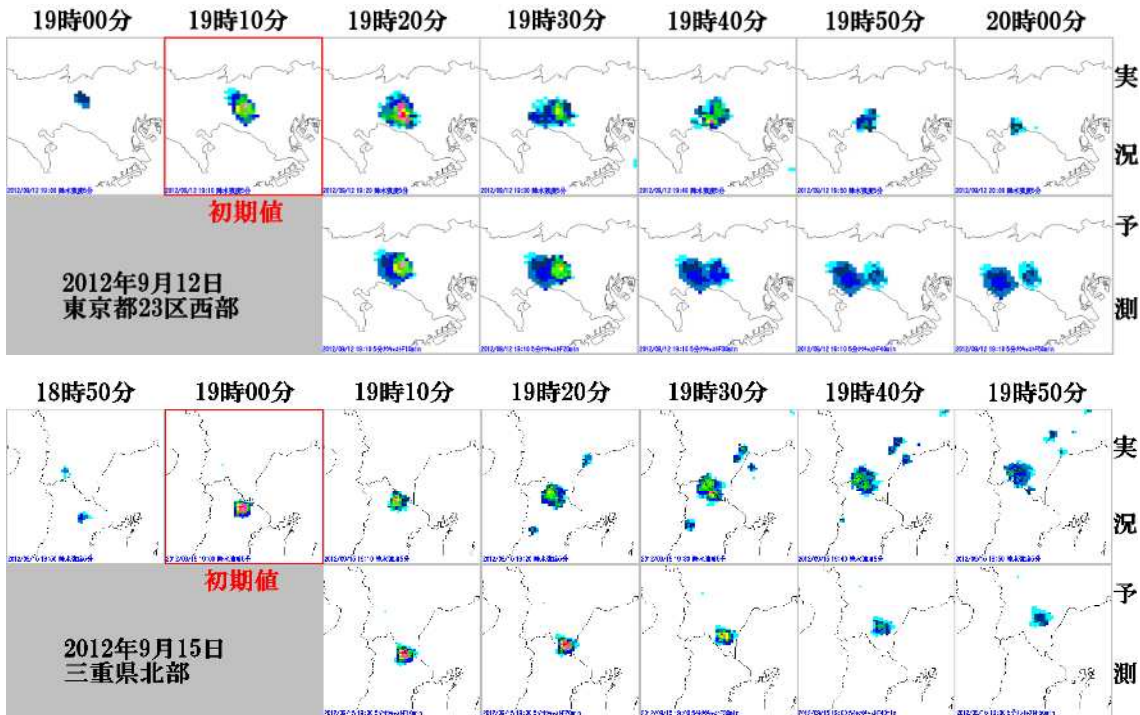
第 3.3.1 図 雨域の面積と移動速度から推定する小規模強雨域の寿命



第 3.3.2 図 強雨域の降水強度予測

第 3.3.2 図には、1 時間先まで降水強度を予測する手法を示している。縦軸に降水強度、横軸に時間を取り、時間 0 が初期値の時刻を表す。予測においては、まず雨域の面積と移動速度から寿命時間を算出し() 初期時刻における降水強度の増分値()と既に雨域が存在した時間()を算出する。雨域の残存時間()は推定寿命時間()から経過時間()を差し引くことにより推定する。次に、降水強度の増分値を寿命の半分の時間まで外挿して最大降水強度を推定し()、寿命の後半は降水強度が最低降水強度に向かって低下する予測値を作成する。ここで、推定寿命時間()、経過時間()及び残存時間()は雨域単位の情報である一方で、降水強度の増分値()及び最大強度()は面情報であり、時間とともに雨域が形を変える予測も可能となっている。なお、初期値において降水が線状の分布を示し、その風上側が楔形であるときには大雨をもたらす可能性が高いことから、予測においては最大降水強度を維持し、盛衰の衰を行わない。

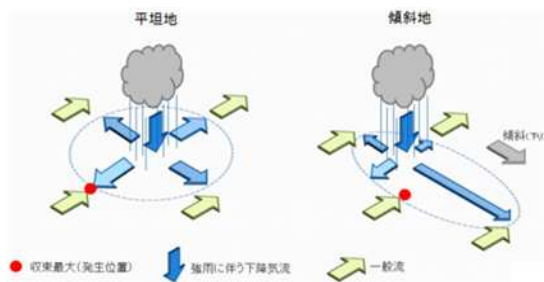
この手法による予測例として、第 3.3.3 図では 10 分間隔の降水強度について実況と予測の比較を示しており、2 つの事例とも強雨域が弱まる傾向を予測している。



第 3.3.3 図 初期値に存在する強雨域の予測例

3.3.2 これから発生する強雨域

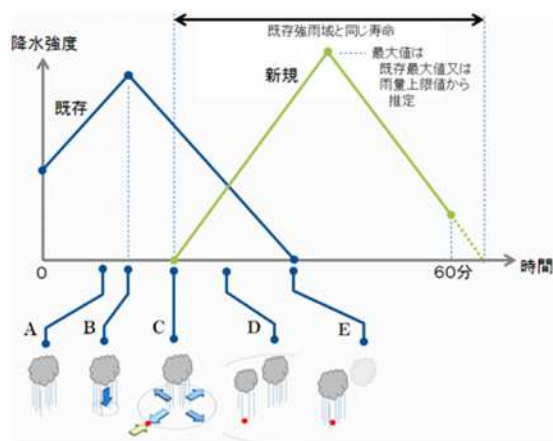
初期値において存在しない強雨域の予測については、既存の強雨域が新しい強雨域を発生させるトリガーとなり、すでに存在している強雨域の近くに新しい雨域を発生させる。これは、既存の強雨域の降水に伴う下降流が地表に達して水平方向に広がり、一般流や地形の影響を受けて収束が強まる領域が現れ、そこに新しい雨域が発生するとのシナリオに基づいている。既存の強雨域をトリガーとすることは、雨域が存在しない領域には新しい雨域を発生させないが、微弱なエコーをトリガーとして雨域を発生させる技術が実用化に向けた評価段階に入っている。



第 3.3.4 図 強雨域の発生位置

図の下向き矢印は強雨に伴う下降気流を表し、地表に達して水平方向に拡がると考える。平坦地であれば下降した冷気はすべての方向に同じように流れるが、傾斜地では低くなる方向により速く流れるとして、風の収束が最も大きい領域を発生位置とする。強雨に伴う下降気流は、降水強度が強いほど流速が速くなるように設定する。

なお、島嶼及び山岳では地上観測点が少ないため、レーダーが観測するドップラー速度を併用する方式の開発を進めている。



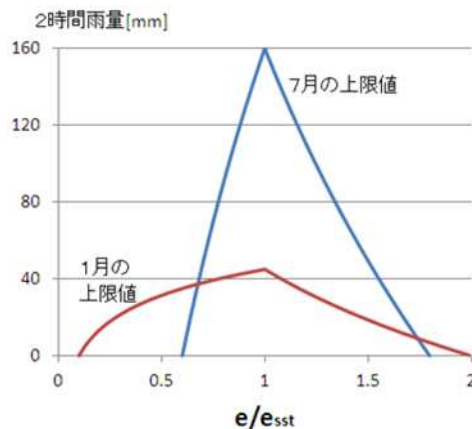
第 3.3.5 図 強雨域の発生時刻と強度予測

強雨域を発生させるタイミングは、既存の強雨域が最大強度となる時刻（第 3.3.5 図の B）を基準とし、このときに下降気流も最大になっていると考えて、その最も強くなった下降気流が地表に達して水平方向に拡がり、収束が最大となったときに新しい強雨域を発生させる（同図の C）。このため、既存の強雨域の最大強度（B）から新規強雨域発生（C）までの時間は一定ではない。

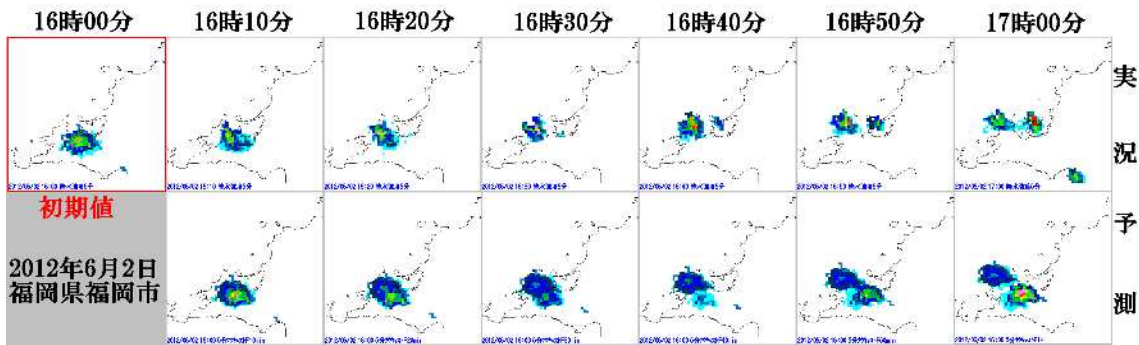
新規の強雨域は既存の強雨域から 30km 以内に発生させるので、同じような環境にあると考えて、既存強雨域と同じ長さの寿命を新規強雨域にも設定する。新規強雨域の降水強度の最大値は、既存強雨域の最大値又は雨量上限値から推定した降水強度最大値を

採用するので、新規の強雨域では既存の強雨域に比べて降水強度が大きくなることもある。ここで、雨量上限値とは積算雨量の上限を与えるもので、海面水蒸気圧（気温として海面水温、相対湿度に 100%を設定して水蒸気圧を算出した値とここでは定義）に対する水蒸気圧の比から 2 時間積算雨量の最大値を算出している。この雨量上限値は全国の地上観測値から統計的に推定したものであり、第 3.3.6 図に示すように、冬では雨量上限値の最大が小さくなり、分布の裾野が広がる。

第 3.3.7 図には既存の強雨域をトリガーとした新しい強雨域の発生例を示している。実況では福岡市西部の強雨域が北西に進み、志賀島付近に新たな強雨域が発生しているが、降水ナウキャストでは新たな強雨域の発生を予測しているものの、発生位置が南へ 10km 程度ずれている。これは、15 時 40 分まで北寄りの風が吹いていた福岡では、強雨域の通過に伴って 15 時 50 分から南西の風を観測するようになり、新しい強雨域を発生させる位置として地上の風の収束最大点を見出す際に、福岡の風向が大きく影響して実況よりも南側に雨域を予測した。このように、地上・アメダス観測が強雨域の通過の影響を受けると、新しい強雨域の発生位置に大きなずれが生じることがある。



第 3.3.6 図 雨量上限値

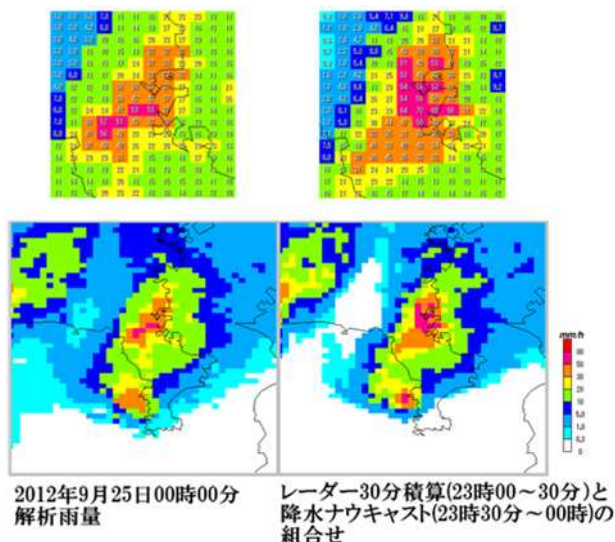


第3.3.7図 新たに発生する強雨域の予測例

3.3.3 利用上の留意点と効果的な利用方法

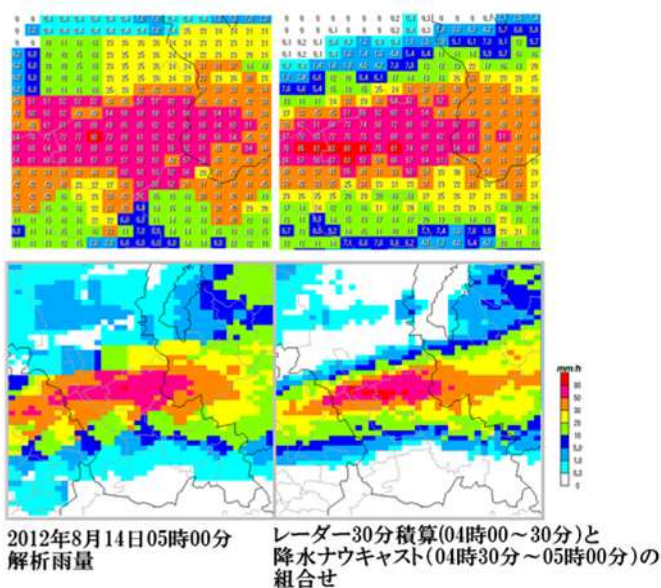
現在のアルゴリズムでは、強雨域の発生位置と時刻には少なからず「ずれ」があり、位置と時刻をピンポイントで予測したものではない。また、新しい強雨域は既存の強雨域の存在をきっかけとして予測するので、

強い降水エコーが全く存在しない領域には新たな強雨域は発生しない。さらに、1つの強雨域から複数の強雨域を発生させると数が増えすぎる傾向があるため、1つの強雨域からは1つだけ発生させるよう制限を設けており、夏の午後に強雨域が急速に増えるような状況では、新しい強雨域の発生が実況より少なくなることがある。降水ナウキャストの利用に際しては、これらに留意する必要がある。特に量的な利用においては、予測期間の後半、つまりFT=30分から60分において予測誤差が大きくなることから、実況値と降水ナウキャストを組み合わせた利用方法が現時点では効果的と言える。



第3.3.8図 局地的短時間強雨の監視・予測における利用例

を紹介する。第3.3.8図には2012年9月25日00時の神奈川県三浦半島付近の解析雨量を左に、24日23時00分から23時30分までのレーダー降水強度の積算値と23時30分から00時00分までの降水ナウキャストの積算値を合算した値を右に示している。午前0時すぎに列車が土砂に乗り上げた横須賀市追浜町を拡大すると、解析雨量は追浜町付近に1時間あたり50mm前後の局地的大雨が存在したことを示している。一方、レーダーと降水ナウキャストを組み合わせた1時間雨量も50~70mmを示しており、時間スケールが1時間程度の局地的強雨の監視及び予測における利用の可能性を示している。



第3.3.9図 線状降水域の大雨の監視・予測における利用例

この組合せ手法を線状降水に適用した例が第3.3.9図である。画像の中心は京都府宇治市志津川であり、午前3時すぎから強くなった雨は4時30分ごろに線状の降水域の形成により激しい雨となり、5時00分の解析雨量では50～70mmが解析されている。

このとき、降水ノウキャストは宇治市を横切る線状降水域を検出して降水強度を最大値に維持する予測を行い、レーダー実況値と降水ノウキャストの組合せにおいては60～90mmの1時間雨量を予測しており、線状降水域の明瞭化と降水の強化に対して降水ノウキャストが素早く反応していることを示している。

参考文献

予報部予報課(1995):レーダー・アメダス解析雨量の解析手法と精度.測候時報62.6.

永田和彦、辻村豊(2007):解析雨量及び降水短時間予報の特性と利用上の注意点,平成18年度量的予報研修テキスト,気象庁予報部,9-24.

木川誠一郎(2012):降水ノウキャストの改善,平成23年度予報技術研修テキスト,気象庁予報部,40-58.