

偏波気象レーダーを用いた降水粒子タイプ情報の データ同化手法の開発

山口弘誠*・中北英一

* 京都大学生存基盤科学研究ユニット

要 旨

偏波気象レーダーは降水粒子の種類や形状に関する情報を観測することができる。本研究では、偏波レーダーの観測情報から推定される降水粒子の種類に関する情報をデータ同化することで数値予報モデルの初期値を改善し、短時間降雨予測精度の向上をはかる。2006年11月に実施した沖縄における偏波レーダー・ビデオゾンデ同期集中観測のデータからファジー理論を用いて降水粒子分類し、あられ粒子の数密度の存在比に関するデータ同化の観測演算子を開発した。2008年6月、沖縄の降雨事例に対して、データ同化システム CReSS-LETKF を用いてあられ粒子種類に関する情報をデータ同化し、降雨予測精度への影響を評価した。データ同化の効果によって、大気の0度層より上空に存在する雲微物理量の存在比が修正され、降雨予測精度の一定の向上がみられた。一方で、存在比の同化だけではなく、量的な観測演算子の構築の必要があることが明らかになった。

キーワード: 短時間降雨予測, データ同化, 偏波レーダー, 降水粒子タイプ判別

1. 緒論

治水管理において、外力のインプットである降雨量を適切に予測することは重要である。豪雨災害をもたらす大気現象のスケールの多くはメソβスケールであり、その予測は非常に難しい。メソβスケールの現象は、雨域の連続観測から時間的に外挿する運動学的手法の適用範囲を超えているため、力学・物理学に基づいた数値予報モデルを使う必要がある。数値予報の問題として、予測対象の現象が表現可能かどうか、それを表現する分解能があるかどうか、などが挙げられるが、それらと同様に、初期値が適切に与えられているかどうか、という問題も非常に重要である。最適な初期値を与えるために最も有効な手法として、観測情報のデータ同化がある。

データ同化とは、時間的・空間的に限られたデータ（観測情報）から、モデル（理論）を満足する初期条件、境界条件、あるいはモデルに含まれる係数、を求めることである。その目的の一つは、データ同化によって推定された真の状態と考えられる値（解析値）をモデルの初期値として将来予測をすること

であり、予測精度を上げるためにも効果的なデータ同化が期待されている。さて、気象学の分野において、データ同化によって求められた解析値は、予報モデルの初期値としてはもちろんのこと、過去の再解析データを用いて様々な研究がなされている。そのようなことから、より良いデータ同化システムを開発していくことは重要な課題である。

さて、最新型の気象レーダーである偏波レーダー観測によって、降水粒子の種類判別や降雨粒子の粒径分布に関する観測情報が比較的高い精度で得られている（例えば、Lim, 2005 など）。降水粒子の種類判別によって、雲物理における時間発展のプロセスが明らかになり、雨滴粒子の形成プロセスを精度良く評価できる。また、降雨粒子の粒径分布情報によって、レーダーを用いた高精度な降雨量推定が可能となる。つまり、偏波レーダーによって観測される降水粒子の種類判別と降雨粒子の粒径分布情報を同化することでますます予測精度の向上が期待される状況にあるが、実際の偏波レーダー観測値を同化した研究は存在しない。今年になって、Jung et al. (2008)が”シミュレーション”から作成した偏波レーダー観測値を Observing System Simulation

Experiments (OSSEs)と呼ばれる双対実験のもとで同化した研究が発表されたばかりであり、これは、同化する際に必要となる偏波レーダー観測値とモデル物理量を関連づける“観測演算子”の構築が未完成であるためである。観測演算子とは、予報モデルの予報変数を用いた観測値への変換式である。偏波レーダーデータの観測演算子が存在しない理由は大きく二つあり、第一に、モデルの予報変数だけでは偏波レーダーの観測パラメータを理論的に表現しきれないから、第二に、仮定を設けて観測演算子を構築したとしてもその観測演算子を検証する観測データが存在しないから、の2点である。

そこで本研究では、2006年11月に実施した沖縄における偏波レーダーとビデオゾンデの集中同期観測のデータを用いて、降水粒子種類に関する観測演算子を構築することを目的とする。さらに、構築した観測演算子を用いて降雨事例に適用し、降水粒子種類のデータ同化による降雨予測精度への影響評価をおこなう。

2. あられ粒子数密度に関する観測演算子の構築

2.1 観測演算子構築の方針

現状では理論的に完全な観測演算子の構築は不可能であるため、ここでは偏波パラメータそのものを同化するのではなく、偏波パラメータから推定される降水粒子種類の情報を同化する。中北ら(2009)が開発した降水粒子の混在を考慮したファジー理論による粒子種類の判別手法をベースに展開する。

観測演算子の構築には、偏波レーダーとビデオゾンデの集中同期観測の結果を用いる(中北ら, 2009)。ビデオゾンデ観測では、上空の降水粒子の種類判別はもちろん、それぞれの粒子の形状や大きさを測ることで粒子種類ごとに質量濃度(mass density)と数濃度(number density)の推定が可能である(Takahashi, 2006)。降水粒子種類ごとの質量濃度と数濃度は、詳細な雲物理過程を考慮している大気モデルにおいて直接の予報変数として表現しており、本研究で用いる大気モデルCReSSでも表現されている。そこで、降水粒子種類ごとの質量濃度と数濃度に関連して観測演算子を構築することが本節における大枠の方針となる。一連の流れを整理したものをFig. 1に示す。中北ら(2009)によって、偏波パラメータからそれぞれの粒子に属する度合い、すなわちファジー理論における評価値を導いており、この評価値と混合比や数濃度との関係性を構築していく。

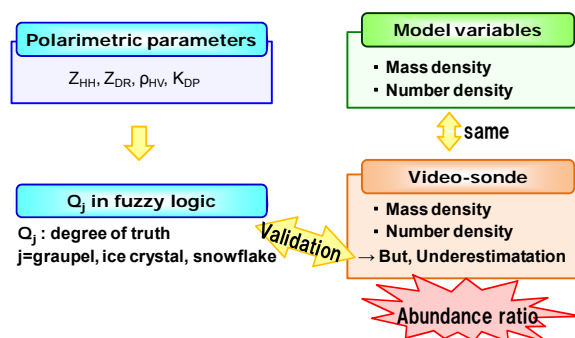


Fig. 1 Strategy of development of observational operator.

中北ら(2009)は、同期観測の結果からファジー理論を用いて、偏波レーダー観測で得られるレーダー反射因子・レーダー反射因子差・偏波間相関係数・伝搬位相差変化率の4個の偏波パラメータを入力値とし、出力値を雨・霰・氷晶・雪片の4種類に分類する手法を開発した。それぞれの降水粒子に属する度合いを評価値として表現し、単一の降水粒子の種類に判別するのであれば、最大の評価値を示す粒子に判別する手法をとった。さらに、ビデオゾンデ観測による複数種類の粒子の混在状況とファジー理論における評価値を比較することで、複数種類の降水粒子の混在を考慮した判別手法を構築した。このファジー理論の評価値とビデオゾンデ観測から得られた粒子種類ごとの質量濃度や数濃度に関する情報との関係性を導く。

さて、データ同化をおこなうためには、観測値を何らかの数値で表現しなくてはならない。仮に、偏波パラメータからそれぞれの粒子種類ごとの量に関する情報(例えば、混合比や数濃度など)を推定することができるとするならば、その推定された量の情報をモデルにデータ同化すればよいだけである。しかしながら、偏波パラメータから量を推定することは難しい。なぜなら、ビデオゾンデ観測に関して、得られる粒子判別の精度は高いが質量濃度や数濃度の推定精度は数オーダー低いことが分かっているために定量的な評価が困難であるからである。そこで、ビデオゾンデ観測が絶対量としては過小評価していても、相対量は正しく測定できているものと考え。つまり、粒子種類の存在比が正しいものと仮定し、0度層よりも上空の固体粒子雲においてそれぞれの降水粒子が占める割合を求めることとする。ここで、固体雲微物理粒子として霰・氷晶・雪片があげられるが、まずは霰を対象とする。氷晶や雪片ではなく霰に着目する理由は、霰は大気の0度高度付近に多く存在し、比較的雲水・雨水へと変化しやすいからである。氷晶や雪片は霰の源であり将来的な対象から外しているわけではない。

2.2 ファジー理論の評価値が取り得る最大値を基準とする方法

ファジー理論を用いた降水粒子判別の途中で計算される、霰、氷晶、雪片のそれぞれの評価値 (Q_{graupel} , Q_{ice} , Q_{snow}) を利用し、霰が質量濃度や数濃度に占める割合を表現する。ファジー理論の評価値は、ある種類に属する度合いを意味しており物理量ではない。そこで、評価値を操作して、ビデオゾンデの観測結果と比較することで、経験的に物理量に結びつける方法をとる。本節で提案する手法は、ファジー理論の評価値が取り得る最大の値を基準とする方法である。Fig. 2を用いて説明する。ファジー理論の評価値とはそれぞれの種類に「属する度合い」を意味しているため、種類ごとの評価値の値はそれほど大きな差はない。よって、Fig. 2 (b) に示すような、ある値以下を切り捨てて新たな評価値 Q^A を作成する。基準を4.0として新たな評価値を作成するとき、切り捨てる値を2.0と2.5の2種類を取り上げて、それぞれ作成する評価値を Q^{A1} と Q^{A2} とする。ビデオゾンデ観測結果とファジー理論による評価値を比較して、粒子種類ごとの評価値が0.1以内の差であれば混在を示す有意な値であったため、その差が明確に現れるように切り捨てる値とする2.0と2.5を定めた。式で表記すると下記の通りである。

$$Q_i^{A1} = Q_i^{\text{original}} - 2.0 \quad (i = \text{graupel, ice crystal, snowflake}) \quad (1)$$

$$Q_i^{A2} = Q_i^{\text{original}} - 2.5 \quad (i = \text{graupel, ice crystal, snowflake}) \quad (2)$$

粒子種類の存在比が正しいものと仮定し、0度層よりも上空の固体粒子雲において霰が占める割合を求める。式で定義すると以下の通りである。

$$R_{\text{graupel}}^{Aj} = \frac{Q_{\text{graupel}}^{Aj}}{Q_{\text{graupel}}^{Aj} + Q_{\text{ice crystal}}^{Aj} + Q_{\text{snowflake}}^{Aj}} \quad (j = 1, 2) \quad (3)$$

ビデオゾンデ観測から得られる降水粒子種類ごとの質量濃度と数濃度から霰の占める割合へ変換した値と、偏波パラメータからファジー理論を通して作成した R_{graupel}^A を比較した結果を Fig. 3 に示す。2種類の Q^A と2種類のビデオゾンデ情報の組み合わせで合計4つのケースを示している。見てわかるように、質量濃度よりも数濃度の方が相関係数は少し劣るものの、RSM誤差が小さい。これは、霰の質量が他の粒子よりも卓越していることを意味する。また、 Q^{A1} と Q^{A2} の結果を比較すると、数濃度の場合は Q^{A2} の

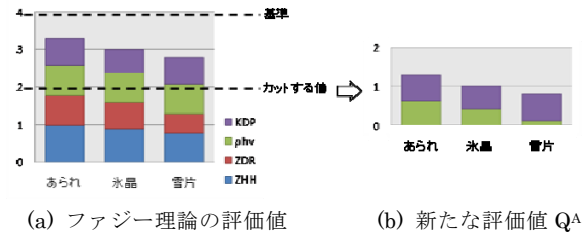


Fig. 2 A new evaluated value, Q^A .

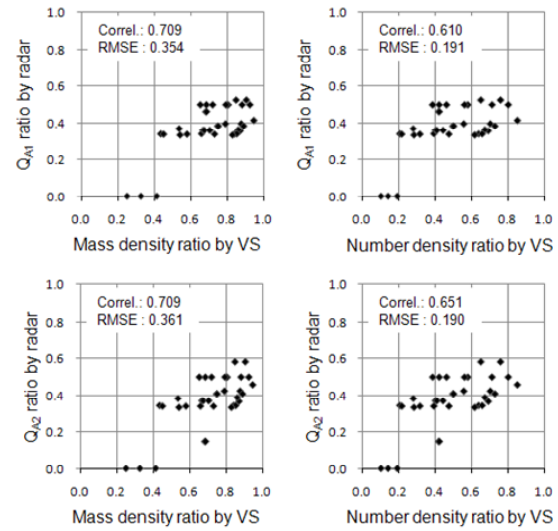


Fig. 3 Validation of Q^A by the video-sonde observation.

方が霰の占める割合の大小をより良く表現できており、RSM誤差はほぼ同じであるが相関係数が高くなっている。よって、相関係数とRSM誤差のバランスと考慮すると、 Q^{A2} と数濃度を関連づける方法が4種類中最も優れているといえる。

2.3 降水粒子ごとの評価値の中で最大の評価値を基準とする方法

本節では、評価値の作成手法の向上を図る。前節では、評価値の取り得る最大値である4.0を基準としてきたが、評価値の絶対値は変動するために評価値が4.0に近い場合や3.0より下回る場合には、切り捨てる値として設定した2.0や2.5では粒子種類の評価値の差をうまく表現できていないと考えた。そこで、粒子種類の評価値の差をうまく機能できるような手法を考える。ここでは、評価値が取り得る最大値である4.0の基準を、霰・氷晶・雪片のうちで最も高い評価値を基準とする。例えば、Fig. 4(a) で示す例においては、霰の評価値が最も高いので、その値を基準とする。また、ビデオゾンデ観測結果とファジ

一理論による評価値を比較して、粒子種類ごとの評価値が 0.1 以内の差であれば混在を示す有意な値であったため、ここでは切り捨てる値として、基準から 0.075, 0.100, 0.125 ほど下回る場合の 3 種類を考慮する。式で表記すると下記の通りである。

$$Q_i^{B1} = Q_i^{original} - (\max(Q_{\text{graupel}}^{original}, Q_{\text{ice crystal}}^{original}, Q_{\text{snowflake}}^{original}) - 0.075) \quad (i = \text{graupel, ice crystal, snowflake}) \quad (4)$$

$$Q_i^{B2} = Q_i^{original} - (\max(Q_{\text{graupel}}^{original}, Q_{\text{ice crystal}}^{original}, Q_{\text{snowflake}}^{original}) - 0.100) \quad (i = \text{graupel, ice crystal, snowflake}) \quad (5)$$

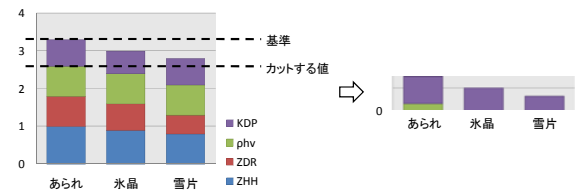
$$Q_i^{B3} = Q_i^{original} - (\max(Q_{\text{graupel}}^{original}, Q_{\text{ice crystal}}^{original}, Q_{\text{snowflake}}^{original}) - 0.125) \quad (i = \text{graupel, ice crystal, snowflake}) \quad (6)$$

ただし、 Q^B が負となる場合は、この後、比をとるときにおかしくならないように、 $Q^B = 0$ とする。さらに、粒子種類の存在比が正しいものと仮定し、0 度層よりも上空の固体粒子雲において霰が占める割合を求める。式で定義すると以下の通りである。

$$R_{\text{graupel}}^{Bj} = \frac{Q_{\text{graupel}}^{Bj}}{Q_{\text{graupel}}^{Bj} + Q_{\text{ice crystal}}^{Bj} + Q_{\text{snowflake}}^{Bj}} \quad (j = 1, 2, 3) \quad (7)$$

ビデオゾンデ観測から得られる降水粒子種類ごとの質量濃度と数濃度から霰の占める割合へ変換した値と、偏波パラメータからファジー理論を通して作成した R_{graupel}^B を比較した結果を Fig. 5 に示す。3 種類の Q^B と 2 種類のビデオゾンデ情報の組み合わせで合計 6 つのケースを示している。見てわかるように、質量濃度よりも数濃度の方が相関係数は少し劣るものの、RSM 誤差が小さい。前節と同様に、これは霰の質量が他の粒子よりも卓越していることを意味する。また、 Q^{B1} と Q^{B2} と Q^{B3} の結果を比較すると、数濃度の場合は Q^{B2} が霰の占める割合の大小をより良く表現できており、相関係数と RSM 誤差ともに良い。よって、相関係数と RSM 誤差のバランスと考慮すると、本項で提案した 6 種類および 2.2 節で提案した 4 種類を加えた計 10 種類の中で最も優れているといえる手法は、 Q^{B2} と数濃度を関連づける方法である。

以上、本節では、大気モデルの予報変数と偏波レーダーの観測値を結びつける観測演算子を構築してきた。ファジー理論で用いたそれぞれの粒子種類に属する度合いである評価値の比が、実際の大気の数濃度の比と関係性を有していることを経験的に導いた。将来的には、ファジー理論で用いた評価値を導く上で、偏波パラメータの理論式を加えることで、さらに精緻化された観測演算子の構築を目指すものの、本研究では、経験的にある程度関係性を導き観測演算子を構築したこと、および、ファジー理論の評価値と大気モデル変数を結びつけるという概念を新たに生み出したことを主張する。



(a) ファジー理論の評価値 (b) 新たな評価値 Q^B

Fig. 4 A new evaluated value, Q^B .

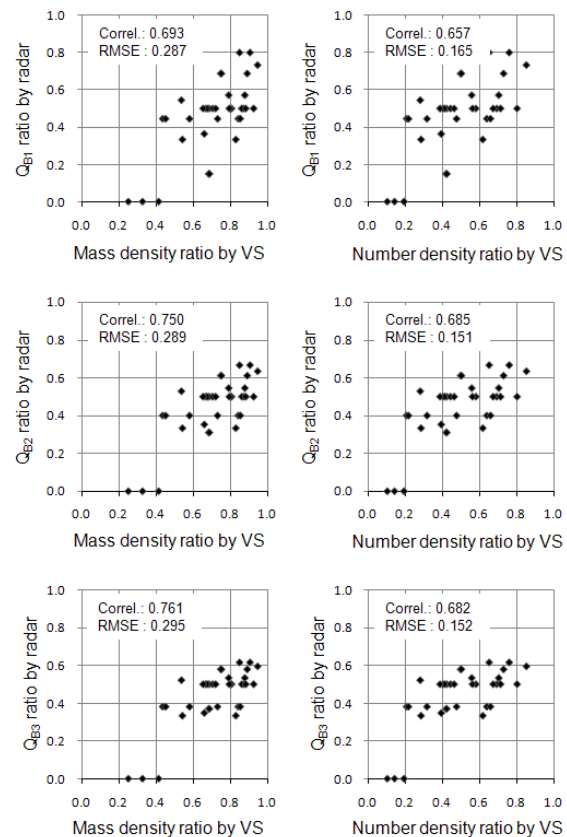


Fig. 5 Validation of Q^B by the video-sonde observation.

3. 2008 年 6 月の降雨事例への適用

3.1 2008 年 6 月 3 日の沖縄での降雨事例

梅雨前線の活発化に伴い、南西諸島では一日中連続的に雨が降り続いた。10Z (世界標準時) 頃から沖縄本島南西部の海洋上で発達してきた雲が沖縄本島を北上する降水システムを対象とする。このときも、偏波レーダーとビデオゾンデの同期観測を実施しており、ビデオゾンデ観測からは融解層付近で凍結氷が多く確認されており、対流性の強い海洋性の降水

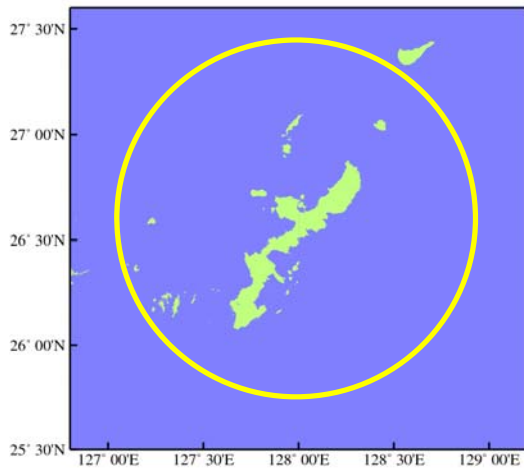


Fig. 6 Domain and covered area of COBRA observation.

Table 1 Experiment cases and assimilated observational parameters.

ケース名	ドップラー風速	反射因子	あられ数密度
同化なし	-	-	-
Dpv	○	-	-
Dpv-Z	○	○	-
ALL	○	○	○

システムであった。2章で述べたあられ粒子数濃度の観測演算子を構築した時期とは異なる現象に適用する理由は、激しい擾乱への予測精度向上を検討するためである。ただし、構築した観測演算子は経験的に導いているため、その妥当性に関して今後検証する必要がある。

3.2 偏波レーダーCOBRAによる降水観測

本研究で同化する観測値は全て、(独)情報通信研究機構が研究運用している偏波レーダー COBRA (CRL Okinawa Bistatic Polarimetric RADar) のデータを用いる。当時の運用モードは6分間毎に14仰角のPPIスキャンでボリュームスキャン観測であった。同化する際は6分毎に1ボリュームスキャンが瞬時に得られるものとする。COBRAの最大探知範囲をFig. 6の円で示す。ただし今回は計算時間の短縮のために、最大探知範囲内であっても予報モデルの全ての格子点で観測値が得られるものとはせず、8格子ごとに観測データを間引いて使用する。用いる偏波パラメータは以下の通りである。

- ・レーダー反射因子(Z)の同化に関して、気温0度高度以下で、かつ20 dBZ以上のデータを用いた。観測誤差を標準偏差3dBZのランダム誤差とする。

- ・ドップラー風速(dpv)の同化に関して、観測誤差を標準偏差2.0 m/sのランダム誤差とする。
- ・ファジー理論を用いた粒子判別の際に、レーダー反射因子・レーダー反射因子差・偏波間相関係数・伝搬位相差変化率の偏波パラメータを使用する。得られる粒子ごとのファジー理論の評価値推定するあられの割合を同化に用いる観測値とする。第2章で述べたように、観測演算子の精度があまり良くないため、それを観測誤差が大きいのとみなし、標準偏差0.2の誤差とする。

3.3 大気モデルCReSSの設定

計算領域をFig. 6に示す。水平解像度を3 km、鉛直方向のグリッド数を40層とする。積雲パラメタリゼーションは使用していない。初期・境界条件には、気象庁のGPV(MSM, 水平解像度10 km)データを用いる。海面水温には、気象庁のNEAR-GOOSデータを用いる。

3.4 アンサンブルカルマンフィルタ LETKFの設定

実験するケースをtable 1に示す。

a) 同化期間と予測期間

同化期間を12Zから13Zの1時間とする。同化する時間間隔を1ボリュームスキャンにかかる6分ごととする。同化終了時刻である13Zを予測の初期時刻とし、3時間先の16Zまで予測する。

b) 初期アンサンブル摂動の作成

時間ずらし法を用いる。09Zを初期時刻として同化せずに通常どおり予測し、10:30Zから13:30Zまでの180分間6分ごとの結果を12Zにおける解析誤差であるとみなして、初期アンサンブル摂動を作成する。サンプル数は30個であり、既往研究と同等の数である。

c) 観測誤差共分散の局所化

local patch とよばれる各格子点のまわりの小さな領域をとり、local patchの外側との誤差相関をないものとして取り扱う。しかし、local patchの境界で誤差相関が急に無くなることは不自然であるため、local patch内であっても遠い点ほど予報誤差が小さくなるように、観測誤差共分散が大きくなる処理をする。local patchの大きさを水平方向に±5格子、鉛直方向に±2格子とする。

d) 共分散膨張

大気力学のような非線形系にカルマンフィルタを適用すると、誤差共分散が小さくなりすぎて観測情報の重みを過小評価してしまう。原因は、線形理論を

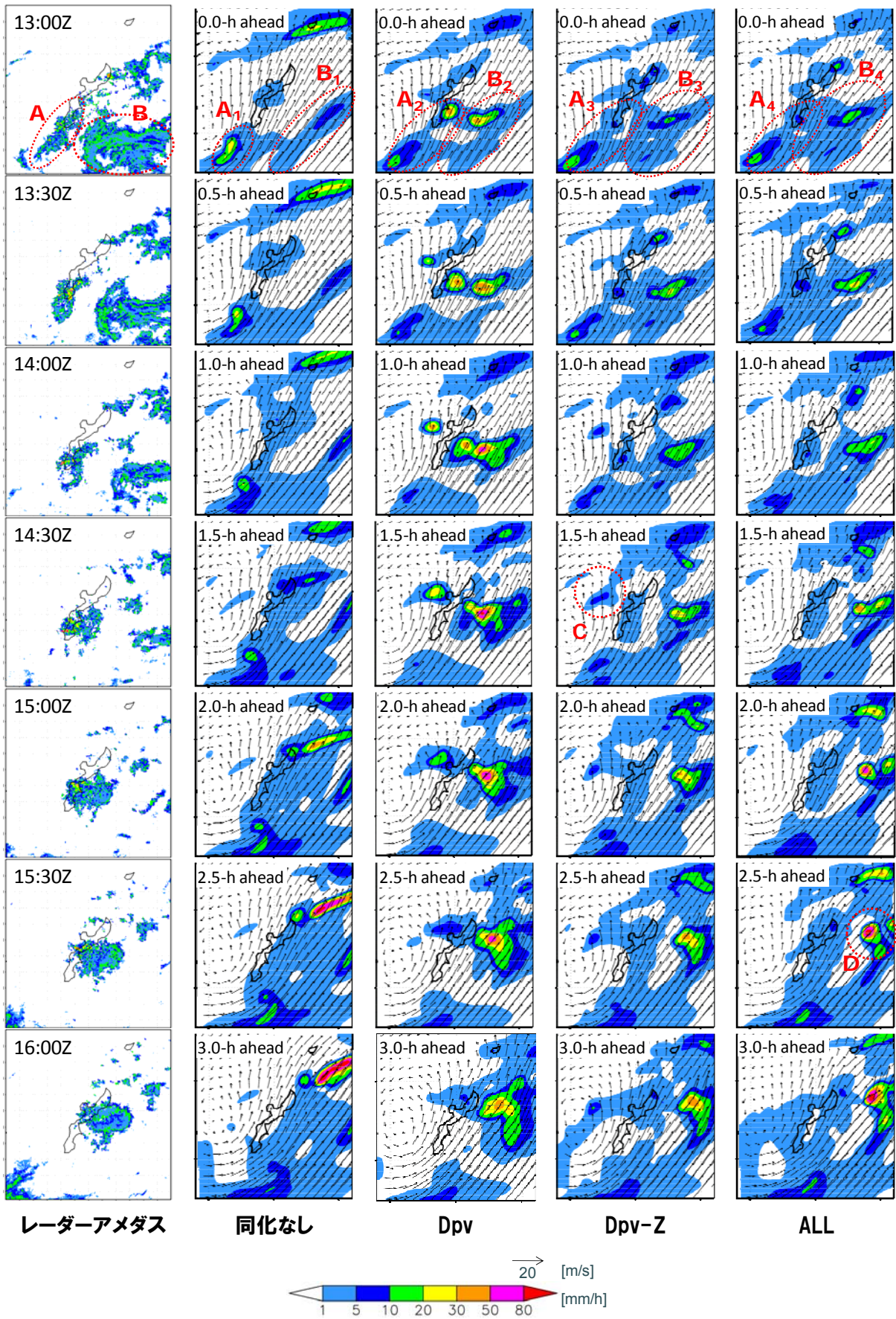


Fig. 7 The results of prediction of each assimilation cases. The shaded color indicates rainrate at the ground. The vector indicates horizontal wind velocity at the height of 1.5 km.

非線形系に適用したことやサンプリングエラーによる予報誤差共分散の見積り誤差などであり、カルマンフィルタにおいてモデルのランダム誤差共分散として扱い、ここでは予報誤差共分散の各成分を7%増加する。

3.5 適用結果と影響評価

Fig. 7にケースごとの予測結果を示す。同化終了時刻である13:00Zにおいて、レーダーアメダスのAに対応する降雨域に関して、ケース同化なしでは沖縄本島より南西部に形成されているA1が、ケースDpvでは降雨域がやや北東方向へ伸びた形A2へと修正されている。さらに、ケースDpv-ZやケースALLでは、降雨域の修正に加えて降雨強度もA2では強く計算されているものが、A3やA4のように修正された。また、レーダーアメダスのBに対応する降雨域に関して、ケース同化なしでは線上の降雨域B1が形成されたのに対し、ケースDpvでは風速がやや北寄りに修正されて収束域が変わることで降雨域B2が形成された。さらに、ケースDpv-ZやケースALLでは、B3やB4のように降雨域が広範囲に修正された。ここで、ドップラー風速を同化するだけでも雨水量が変化する主な理由は、1時間の同化期間の中で風速場が変化したことで収束域も変化したこと、および、風速場の誤差相関構造が降雨場と類似していたことが考えられる。

同化終了時刻の13:00Zを予測の初期時刻として、30分ごとの予測結果をみると、時間を追うごとに衰弱しているレーダーアメダスのBに対応する降雨域に関して、いずれの予測結果も北東進しながら発達して予測がうまくいっていない。レーダーアメダスのAの降雨システムは発達していているが、予測結果ではそれに対応するシステムは形成されていない。境界の設定を含めて今後検討する必要がある。

最後に、ケースDpv-ZとケースALLを比較すると、全体的にはほとんど大差が無いように見えるが、例えば、CやDの部分において結果が異なる。図示していないが、Cを形成する1時間前において上空のあられの混合比がデータ同化することで減少し、Dでは増加していた。この正当性の検証は困難であるが、この時刻にビデオゾンデを放球しており、それらのデータを利用して構築した観測演算子の妥当性も含めてこれから深く考察していく必要がある。

4. 結論

最新のデータ同化手法をベースにしたデータ同化システムCReSS-LETKFを開発し、偏波レーダー

COBRAの観測情報をデータ同化して短時間降雨予測における影響を評価した。得られた主な成果は次の通りである。

(i) レーダー反射因子やドップラー風速を同化することによる影響は、過去の知見と比較しても同等の効果が得られ、開発したCReSS-LETKFの妥当性が得られた。

(ii) 偏波レーダーとビデオゾンデの同期観測から、偏波レーダーパラメータと雲微物理変数の簡単な観測演算子を構築した。構築した観測演算子の妥当性の評価はまだできていないものの、固体層雲微物理の形成過程を直接同化するという新しい概念を示した。

謝辞

偏波レーダーCOBRAの観測データをご提供して頂いた(独)情報通信研究機構に謝意を表します。

参考文献

- Crook, N. A. and J. Sun: Assimilating radar, surface, and profiler data for the Sydney 2000 forecast demonstration project, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, Vol.19, pp888-898, 2002.
- Seko, H., T. Kawabata, T. Tsuyuki, H. Nakamura, K. Koizumi, and T. Iwabuchi: Impacts of GPS-derived water vapor and radial wind measured by Doppler radar on numerical prediction of precipitation, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol.82 (1B), pp473-489, 2004.
- Lim, S., Chandrasekar, V. and Bringi, V.N.: Hydrometeor classification system using dual-polarization radar measurements: Model improvements and in situ verification, *IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing*, Vol.43, pp792-801, 2005.
- Jung, Y., G. Zhang, and M. Xue: Assimilation of simulated polarimetric radar data for a convective storm using the ensemble Kalman filter. Part 1: observation operators for reflectivity and polarimetric variables, *Mon. Wea. Rev.*, Vol.136, pp2228-2245, 2008.
- Hunt, B. R., Kostelich, E. J. and Szunyogh, I.: Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: A local ensemble transform Kalman filter. *Physica D*, Vol.230, pp112-126, 2007.
- Tsuboki, K. and Sakakibara, A.: Large-scale parallel computing of Cloud Resolving Storm Simulator, *High Performance Computing*, Springer, pp243-259, 2002.
- Sun, J. and Crook, N. A.: Dynamical and microphysical retrieval from Doppler radar observations using a cloud

model and its adjoint. Part 1: model development and simulated data experiments, *J. Atmos. Sci.*, Vol.54, pp1642-1661, 1997.

Takahashi, T.: Precipitation mechanisms in east Asian monsoon: Videosonde study, *J. Geophys. Res.*, Vol. 111(D09), pp202-217, 2006.

中北英一, 山口弘誠, 隅田康彦, 竹畑栄伸, 鈴木賢士, 中川勝広, 大石哲, 出世ゆかり, 坪木和久, 大東忠保: 偏波レーダーとビデオゾンデの同期観測および降水粒子タイプ判別. *土木学会水工学論文集*, 第53巻, pp. 361-366, 2009.

Data Assimilation of Hydrometeor Types Estimated from Polarimetric Weather Radar

Kosei YAMAGUCHI* and Eiichi NAKAKITA

* Institute of Sustainability Science, Kyoto University

Synopsis

It is important for 0-6 hour nowcasting to provide for a high-quality initial condition in a meso-scale atmospheric model by a data assimilation of several observation data. The polarimetric radar data is expected to be assimilated into the forecast model, because the radar has a possibility of measurements of the types, the shapes, and the size distributions of hydrometeors. In this paper, an impact on rainfall prediction of the data assimilation of hydrometeor types (i.e. raindrop, graupel, snowflake, etc.) is evaluated. The observed information of hydrometeor types is estimated using the fuzzy logic algorithm. As an implementation, the cloud-resolving nonhydrostatic atmospheric model, CReSS, which has detail microphysical processes, is employed as a forecast model. The local ensemble transform Kalman filter, LETKF, is used as a data assimilation method, which uses an ensemble of short-term forecasts to estimate the flow-dependent background error covariance required in data assimilation. A heavy rainfall event occurred in Okinawa in 2008 is chosen as an application. As a result, the rainfall prediction accuracy in the assimilation case of both hydrometeor types and the Doppler velocity and the radar echo is improved by a comparison of the no assimilation case. The effects on rainfall prediction of the assimilation of hydrometeor types appear in longer prediction lead time compared with the effects of the assimilation of radar echo only.

Keywords: short-term rainfall prediction, data assimilation, polarimetric radar, hydrometeor classification