

機関番号： 14301
 研究種目： 研究活動スタート支援
 研究期間： 2009～2010
 課題番号： 21860046
 研究課題名（和文） 偏波レーダー情報の同化を基礎とした大気上空の水物質量の
 推定手法開発による豪雨予測
 研究課題名（英文） Heavy Rainfall Prediction by the Estimation of Cloud Microphysics
 Amounts Based on the Assimilation of the Polarimetric Radar Data
 研究代表者
 山口 弘誠（YAMAGUCHI KOSEI）
 京都大学・生存基盤科学研究ユニット・特定研究員
 研究者番号： 90551383

研究成果の概要（和文）：豪雨災害の軽減を目指して、様々な雲微物理量の推定による降雨予測精度の向上を目的に、偏波レーダーから推定される降水粒子種類情報、および水蒸気量をデータ同化することで、降雨予測手法の高度化を実現した。また、偏波レーダーを用いて降水粒子の形成過程を通して水蒸気量を推定できる可能性があるという概念を示した。

研究成果の概要（英文）： With a view to improve quantitative precipitation forecast by the estimation of the various cloud microphysics based on the data assimilation of the polarimetric radar, the assimilation method of the precipitation type estimated by the polarimetric radar was developed, in addition, the effect on the QPF by the assimilation of the vertical profile of vapor was evaluated, which brought to realization on the advanced techniques of QPF.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,080,000	324,000	1,404,000
2010年度	950,000	285,000	1,235,000
総計	2,030,000	609,000	2,639,000

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 土木工学・水工学

キーワード： 降水予測、データ同化、偏波レーダー

1. 研究開始当初の背景

近年、都賀川豪雨災害（2008年）に代表されるように、とりわけ都市部で豪雨災害が頻発している。水工学の分野においては河川流出管理・ダム操作・下水道の排水処理といった防災の観点から、数時間先～半日先における降水量を高精度に予測することが極めて重要である。

さて、偏波レーダーと呼ばれる最新型の気象レーダーは、従来型レーダーの水平偏波観測に加えて鉛直偏波など6種の偏波観測によって降水粒子の種類判別（雨、氷晶、雪、あられなど）や降雨粒子の粒径分布の観測が期待できる状況にある。これはこれまでに開発

されてきた気象レーダー技術を全て取り込んだまさに夢のようなレーダーであり、現況の降水量推定精度が飛躍的に向上した。しかしながら、偏波レーダーの観測情報を予測に用いた研究は存在しなかった。その理由は、偏波レーダー情報をデータ同化する際に必要となる「偏波レーダーの観測パラメータと大気モデルの予報変数の関係性」を導くことが理論的に難しいことと、いくつかの仮定を設けてその関係性を導いたとしても検証する観測データが乏しいこと、である。この分野の最先端を進むアメリカの研究グループにおいても、理想的な条件のもと模擬的に作成した観測値の同化実験をしているに過ぎ

ない。そこでまず、申請者の研究グループでは、実際の降水粒子を直接撮影することができるカメラ付きの気球を上空に放球し、その気球が飛んでいる場所を偏波レーダーで同期させることで貴重な観測データを取得した。

一方で、偏波レーダーで観測できる降水粒子は液相と固相の粒子であり、気相である水蒸気をとらえることができない。しかし、様々な観測情報のデータ同化実験の結果から、液相や固相粒子の同化による時間効果は長くて2時間先予測までに限られ、それより先の予測においては降水の源となる水蒸気のデータ同化が重要であることが示されている。概念的には、「液相→固体相→気相」へと順番に雨水の起源を遡っていく考えとなる。さて、最新の水蒸気観測手法として、GPS 遅延量観測と鉛直方向の音波観測を組み合わせることで水蒸気の鉛直分布が推定できるようになっているものの、ある地点の鉛直1次元方向の観測情報のみであり空間的な分布を把握ことはできず、同化したところで効果は大きくない。さて、先に述べた偏波レーダーとカメラ付き気球の同期観測中に偶然にもほぼ同地点で水蒸気観測を実施しており、偏波レーダー・カメラ付き気球・GPS 遅延量・音波観測の全てを比較できる状況にある。つまり、空間分布を瞬時に観測することができる偏波レーダー情報から水蒸気量を抽出する手法開発の可能性が出てきた。

2. 研究の目的

(1) 研究の目的

そこで、防災気象情報の高度化を実現するために、最新型の偏波レーダーの観測情報をデータ同化することで、予測大気モデルの初期値を現実らしく与える手法を開発することを大きな目的とする。特に、短時間先の地上降水量予測に大きく影響を及ぼす大気上空に存在する水物質（あられや雪片や水蒸気など）の初期値精度を格段に向上させる。ここでの水物質として、第1ステップは固相雲微物理量（あられ・氷晶・雪片）と液相雲微物理量（雨水）であり、第2ステップは気相雲微物理量、つまり水蒸気である。さらに開発した推定手法で得ることができる水物質をデータ同化することで、短時間降雨予測精度がどの程度向上するのかを明らかにする。

(2) 研究の特色

偏波レーダー情報を用いた大気モデル中の雲物理モデル変数の同化に踏み込んだ研究は、この分野の最先端を行くアメリカにおいても未だ精度向上に成功した例はなく、偏波レーダーの有用性を理解する研究が重要視されている。本研究では、偏波レーダーの

観測パラメータを直接的に同化するのではなく、偏波レーダーの観測情報から間接的に推定される水物質を同化する点が工夫の表れである。これは、地上降水量の予測精度を向上させるための効果的な観測情報を探っていった結果ようやくたどり着いた着眼点であり、単なる気象学ではなく気象工学の視点だからこそ発想できる研究である。

また、偏波レーダーから水蒸気の空間分布を求めることはレーダーの理論的には不可能であるが、そこにデータ同化による気象学の降水粒子の形成プロセスを加味するという発想のジャンプをもって解決することが独創的である。もちろん、このような着想は世界で初めてである。

日本においては、国土交通省が管轄する大型レーダーの偏波化が近畿地方と九州地方で数年内に実施され、加えて、三大都市域を監視する目的で小型偏波レーダーネットワーク網の配備が平成22年度中にも実現されようとしていた（本研究費の応募当時の状況、平成23年現時点において、計11台のレーダーが導入されており、平成23年度中にさらに16台のレーダーの導入が予定されている）。これだけの偏波レーダーネットワーク網は世界でも類を見ず、研究結果を日本発信で世界にアピールすることができる。偏波レーダーを現況の監視のみに利用するのではなく、予測への利用方法を提案することが大いに切望されており、豪雨災害に対する被害軽減を目標とすることがまさに時代の要求に応じている。

3. 研究の方法

(1) データ同化システム

本研究の根幹をなすデータ同化手法と予測大気モデルについて述べる。まず、データ同化手法にはアンサンブルカルマンフィルタ法の一つである局所アンサンブル変換カルマンフィルタ法 LETKF (Hunt et al., 2007) を用いる。データ同化手法の中でも最も高度な範疇のデータ同化手法であり、アンサンブル予報が提供する予報のばらつき（標本）から予報誤差共分散（母集団）を求めて、近似的にカルマンフィルタを適用する最新のデータ同化技術である。また、予測大気モデルには雲解像モデル CReSS (Tsuboki and Sakakibara, 2002) を用いる。非静力学圧縮モデルであり、非常に詳細な雲微物理過程が考慮されている。申請者は既にこれらを利用して、世界的に見ても最先端レベルのメソ気象予測データ同化システム CReSS-LETKF (Yamaguchi and Nakakita, 2008) を開発済みであり、本研究の根幹となるデータ同化に関しては十分な知識と経験を有している。さらに将来的には、偏波レーダー情報を効果的にデータ同化するために、大気モデルの雲

微物理プロセスに BIN 法を用いて、降水粒子の粒径分布を直接計算するモデルに改良することも視野に入れている。

(2) 固相雲微物理量の同化

あられ、雪片、氷晶という固相雲微物理に着目して、それらの数密度と偏波レーダーパラメータを結びつける関係性を見いだす。具体的には、偏波レーダーとカメラ付き気球を同期させた観測データを用いて、ファジー理論を利用して降水粒子の種類判別を行い、ファジー理論の“種類に属する度合い”を意味する評価値を利用して数密度存在比の関係性を探る。推定された粒子種類ごとの質量密度をデータ同化することで、どの程度降水量予測精度が向上するか評価する。固相粒子は大気の気温0度層よりも上空に位置しているため、ここでは大気下層の液相粒子についても従来手法で同化して、それぞれの同化の効果を評価する。

(3) 水蒸気量（液相）の同化

水蒸気量の鉛直分布をモデルへデータ同化する手法を開発することで、従来までの鉛直積算量をデータ同化する場合と比較してどれほど降水予測へ効果があるのかを明らかにする。ここでの研究開発項目は、水蒸気量の鉛直分布のデータ同化手法を構築することである。この際、データ同化におけるローカルパッチの大きさなど各種パラメータを決定していく必要がある。従来手法である可降水量のデータ同化による効果と比較する。

4. 研究成果

(1) 固相雲微物理量の同化による降水予測精度への効果

これまでに実施してきた、偏波レーダーとビデオゾンデの同期観測データを用いて、偏波レーダーパラメータと個体雲微物理量の関係性を構築した。図1にまとめたものを整理する。質量密度よりも、数密度の方が間恵瓊性が高いことを明らかにした。

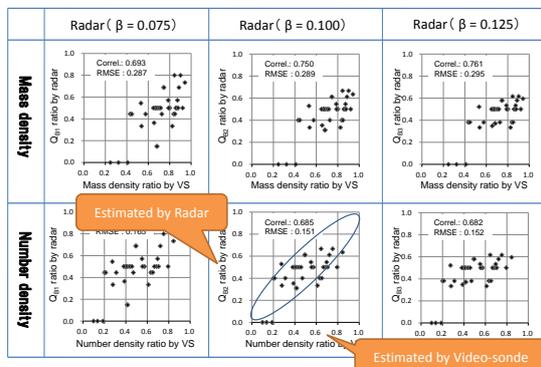


図1 偏波レーダーパラメータと個体雲微物理量の関係性の構築

これによって、データ同化システム CReSS-LETKF を用いて、降水予測精度への評価を行った。図2に設定した各種パラメータを示す。

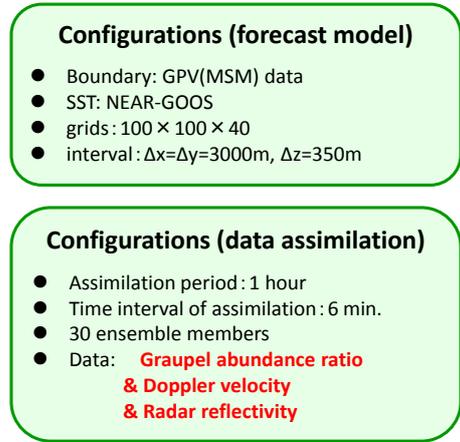


図2 データ同化システムにおけるパラメータ設定

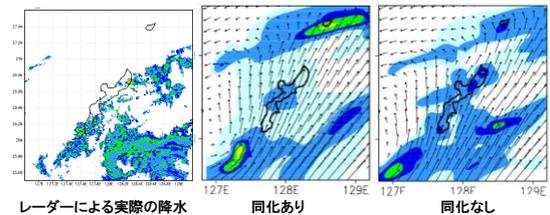


図3 データ同化終了時刻におけるデータ同化の効果

図3にデータ同化終了時刻における降水強度を示す。データ同化しない場合と比べて、降水強度、降水域ともに精度が向上していることが分かる。

(2) 水蒸気量の同化による降水予測精度への効果

可降水量のデータ同化システムを新たに構築し、CReSS-LETKF に組み込んだ。よって、水蒸気量の鉛直分布を同化することの効果調べた。事例として、2009年6月の沖縄での降雨事例を対象とした。ただし、ここでは、Observing System Simulation Experiment (OSSE)を用いた理想実験を実施し、予測モデルが完全であるという仮定のもと、水蒸気量の鉛直分布のデータ同化によって降水予測精度を評価する。2009年6月4日の沖縄で発生した降雨に対する一つのモデルランを真値とし、また初期時刻のみを変えた別のモデルランを同化なしのコントロールランとして、水蒸気量を同化することによる降水予測精度への効果を調べる。データ同化に関する各種の設定パラメータを図4に示す。

- 計算条件 (CRESS)**

 - 初期値・境界値: GPV(MSM)
 - 海面温度: NEAR-GOOS
 - grids: 248 × 248 × 50
 - interval: $\Delta x = \Delta y = 2000\text{m}$, $\Delta z = 300\text{m}$
- 計算条件 (LETKF)**

 - 同化期間: 30分間
 - 同化間隔: 10分間ごと
 - Local patch: 水平±15km、鉛直±1km
 - サンプル数: 30メンバー

図 4 データ同化システムにおけるパラメータ設定

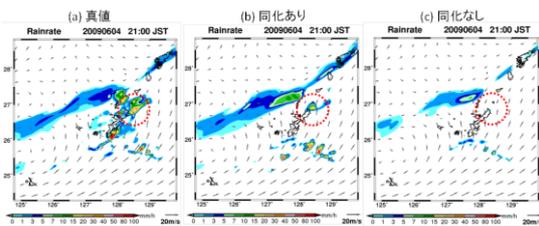


図 5 2時間先降水予測の結果。(a)真値, (b)同化あり, (c)同化なし

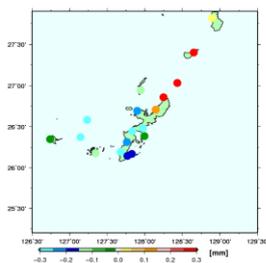


図 6 GPS 可降水量の 10 分間増加量

図 5 に、2 時間先降水予測の計算結果を示す。カラーで地上降水強度、ベクトルで地上 1.5km における水平風を示す。点線丸印で囲んだ場所に存在する降水システムに関して、現象の 3 時間前から予測を開始した真値ランにおいては、強い降水強度を示している。また、図 6 にその時刻における実際の GPS 可降水量（水蒸気量の鉛直積算量）の 10 分間増加量の観測値を見ると高値を示しており将来的には実現現象でも水蒸気を同化することによる効果が期待できる。さて、真値ランよりもさらに 3 時間前から予測を開始したコントロールラン ((c)同化なし) においては、その降水システムすら予測できていない。それに対して、水蒸気量の鉛直分布を同化したラン ((b)同化あり) では、真値と似通った形で降水システムが形成されていることがわかる。よって、水蒸気量の鉛直分布の同化による効果は非常に大きいことが示された。ただし、現業観測がなされている GPS 可降水量

による水蒸気の鉛直積算量のデータ同化した場合との比較を今後実施していく必要がある。加えて、どの高度のデータ同化のインパクトが大きいのかを解析していく。

(3) 降水粒子の形成過程を通した偏波レーダーによる水蒸気量の推定にむけて

さて、水蒸気量の鉛直分布を観測するには音波観測が必要であり、環境への負荷を考えると都市部への現業配備は現実的に困難である。よって、偏波レーダーのみによる水蒸気量の推定が強く望まれる。最後にその素案を示す。

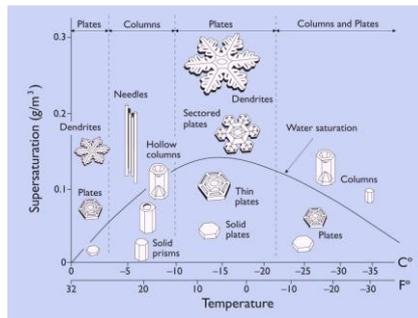


図 7 雪結晶の形と気温、過飽和水蒸気密度の関係 (Kobayashi, 1961)

図 7 に示すように、過飽和水蒸気量と気温の関係によって降水粒子の形成過程が異なり雪結晶の形が分類される。この関係を利用して、偏波レーダーから算出することができる降水粒子の種別や形状をデータ同化することで、水蒸気量を抽出する手法を開発したい。そのために、固相粒子種類を柱状粒子や平板粒子など細分化して分類する必要がある、未だ利用されていない偏波レーダーの観測パラメータである直線偏波抑圧比と呼ばれる粒子の扁平度や主軸の傾きに関する情報を用いることができる。よって、降水粒子の形成過程を通すという新たな概念によって、偏波レーダーのみによる水蒸気量の推定を目指す。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 中北英一・山邊洋之・山口弘誠: ゲリラ豪雨の早期探知に関する研究, 土木学会水工学論文集, 第 54 巻, pp. 343-348, 2010. 査読有
- ② Kosei Yamaguchi, Eiichi Nakakita, and Yasuhiko Sumida: Data assimilation of hydrometeor types estimated from the polarimetric radar observation. Proc. of World Meteorological Organization Symposium on Nowcasting and Very Short

Term Forecasting, 7 pp., 2009. 査読無

- ③ 山口弘誠, 中北英一: 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. 京都大学防災研究所年報, 第 52 号 B, pp. 539-546, 2009. 査読無

[学会発表] (計 11 件)

- ① Kosei Yamaguchi, and Eiichi Nakakita: Data assimilation of hydrometeor types estimated from the Polarimetric Radar Observation. International Precipitation Conference (IPC10), University of Coimbra, Coimbra, Portugal, 23-25 June 2010.
- ② Kosei Yamaguchi, and Eiichi Nakakita: Ensemble Kalman filter assimilation of hydrometeor types estimated from polarimetric radar observation. International Symposium on Radar and Modeling Studies of the Atmosphere, Kihada Hall, Kyoto University, Uji Campus, Kyoto, Japan, 10-13 November 2009.
- ③ Kosei Yamaguchi, Eiichi Nakakita, and Yasuhiko Sumida: A suggestion for data assimilation method of hydrometeor types estimated from the polarimetric radar observation. 2009 Korea Water Resources Association Annual Conference, YongPyong Resort, Korea, 21-22 May 2009.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 弘誠 (YAMAGUCHI KOSEI)
京都大学・生存基盤科学研究ユニット・特定研究員
研究者番号: 9 0 5 5 1 3 8 3

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし