

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02962

研究課題名(和文) 粒子フィルタを用いた積乱雲の発生・発達に関する不確実性の解明

研究課題名(英文) Study on uncertainty of cumulonimbus initiation and development using particle filter

研究代表者

川畑 拓矢 (Kawabata, Takuya)

気象庁気象研究所・気象観測研究部・室長

研究者番号：80354447

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：積乱雲の発達プロセスにおける確率分布は非ガウス分布となって予測可能性を低下させることが予想される。このような非ガウス分布を観察するために、非静力学気象モデルを用いた粒子フィルタを開発し、観測システムシミュレーション実験を行った。さらに非ガウス分布を客観的に判定するためにベイズ情報量規準を導入した。この基準を用いた判定結果から、積乱雲の発生・発達は非ガウス過程であることが明らかとなり、そのソースは上昇流であると結論づけた。さらに非ガウス時のフィルタ性能を向上させるためにPV inversionや深層学習を用いた同化手法を開発し、非ガウスをもたらず対流現象の発生要因を解明するESVD解析を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界で初めて積乱雲を対象とするスケールの粒子フィルタを開発し、積乱雲発達過程における非ガウス性を調査した。気象現象がカオスの振る舞いを持つ事はよく知られているが、積乱雲におけるカオスの発生・発達について調査した研究はこれまでになく、本研究によって初めて明らかにされた。また非ガウス性を客観的に評価する手法を世界で初めて確立した。これらの成果により積乱雲に関わるカオスの研究が進み、その予測可能性の限界が明らかになっていくものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：There is a hypothesis that the probabilities of processes in cumulonimbus-developments are non-Gaussian and then predictability becomes low. In order to investigate these processes, we developed a particle filter with a nonhydrostatic model and an observation system simulation experiment. Moreover, we adapt the Bayesian information criteria to determine Gaussian or non-Gaussian for each probability density. For the result, non-Gaussian processes in cumulonimbus-development was clarified and it is concluded that the source of these nonGaussian was the vertical winds. Furthermore, in order to improve the filter in nonGaussian cases, we developed a PV inversion method and a data assimilation combined with a machine learning. Since it is important to understand the processes more in detail, the ESVD analysis was developed to investigate the initiation processes of convective phenomena.

研究分野：気象学

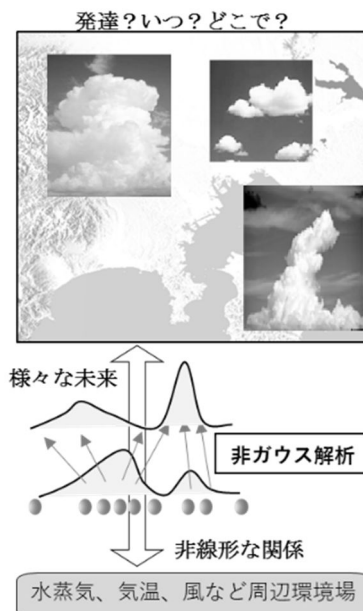
キーワード：積乱雲 粒子フィルタ 非ガウス カオス

1. 研究開始当初の背景

夏季に発生する局地豪雨は発達した積乱雲によってもたらされるが、ある適当な環境場を与えられたときに、いつ、どこで、どの程度、積乱雲が発生し、発達するのには大きな不確実性がある。また逆に発達した積乱雲の発生環境場も様々である。このことは大気現象が本質的にカオス性を内包しているためであり(Lorenz 1963;1969)、数値予報モデルによる予測でさえも降水過程からもたらされる不確実性によって将来の予測が本質的に不完全となることが分かっている(Zhang et al. 2006)。すなわち積乱雲の発生・発達過程は、その周辺の気温、水蒸気、風の場のわずかな揺らぎや、内部の水物質の相変化などの揺らぎによって、発達の度合いが大きく異なるものと考えられている。

Kondo and Miyoshi (2016) は 10,000 メンバーによるアンサンブルカルマンフィルタ(EnKF)を実行して、確率密度がガウス分布より外れているところほど解析誤差が大きいことを指摘している。従来のデータ同化手法である変分法や EnKF の前提となっている線形・ガウス分布の仮定が、対象としている現象において成り立たないとき、解析および予報の誤差が大きくなることが明らかとなってきている。

対象とする現象の取り得る状態の確率密度分布を大量のアンサンブル予報で陽に表現しようとするデータ同化手法が本研究で用いる粒子フィルタ(Particle Filter:PF)である。ここでは線形性やガウス分布の仮定は不要である。これまで気象学における PF は、簡略化したモデルとともに用いられおり(例えば Poterjoy and Anderson 2016)、実用的な数値モデルに適用した例は他にない。本課題では気象庁非静力学モデル(JMANHM)を用いた粒子フィルタ(NHM-PF)を開発し、積乱雲の発生・発達に関わる非ガウス性を明らかにする。



2. 研究の目的

ある時点で得られた水蒸気場などの積乱雲周辺観測データと、その後の積乱雲の発生・発達との関係は非線形であり、統計的に非ガウス分布をなすと考えられる。ある時刻における観測データに対して、例えばアンサンブルメンバーによって局地前線の位置が大きく異なるような環境場が存在しうる。これらは積乱雲の発生位置、時刻、発達の度合いなどが全く異なる未来へつながっている。このような非線形性に対する確率分布を明らかにすることは、積乱雲の発生・発達に対して、どのような領域のどのような要素が線形につながり、あるいは非線形につながっているのかを明らかにすることであり、すなわち積乱雲の環境場や内部構造に関する敏感性を明らかにすることである。これは積乱雲がどのように発生・発達するのかという知見に直接結びつく。本研究においては、世界で初めて PF を局地豪雨スケールに適用し、積乱雲内部や周辺において大きくなっているものと考えられる非線形性や非ガウス性について調査を行う。

3. 研究の方法

予報モデル、観測演算子、粒子フィルタを組み合わせるデータ同化システムとして構築し、観測データを同化する。ここで表現される非ガウス確率密度から積乱雲の不確実性を調査する。

本課題で開発する雲解像粒子フィルタは、非静力学数値モデル、観測演算子、粒子フィルタで構成される。まず NHM によるアンサンブル数値計算結果に対して観測演算子を作用させ、観測データと比較を行う。それから PF によって尤度を計算して各メンバーに重み付けし、次のアンサンブル予報を行う。このような大量のアンサンブルからなるデータに対して、可視化を行い、非ガウス性を評価し、必要に応じて延長予報や粒子スムーザを実行する。最終的に積乱雲の発生・発達に関する不確実性を明らかにする。

4. 研究成果

4.1 NHM-RPF

本稿で用いる粒子フィルタは気象庁非静力学モデル(Japan Meteorological Agency NonHydrostatic Model: JMANHM, (Saito et al. (2006); Saito (2012); Saito et al. (2007)) に基づいている。JMANHM は 2017 年まで気象庁で現業的に用いられ、また研究用としても様々な目的に用いられた。本粒子フィルタには Ueno and Nakamura (2016) が提案した観測誤差共分散行列の動的推定(Adaptive R Estimator: ARE)が組み込まれ、NHM-RPF と呼んでいる。

粒子フィルタのアルゴリズムは、時間推進演算子と、フィルタリングの二つのパートに分かれている。時間推進演算子として JMANHM を採用しており、2 モーメント雲物理過程や Deardorff 乱流過程(Deardorff (1980))など、高解像度シミュレーション用に高度な物理過程を用いた。なお粒子フィルタのアルゴリズムとしては SIR (sampling importance resampling)

法を採用し、尤度に従う重みに従ってリサンプリングを行う。

本システムでは、観測誤差を動的に推定する **Adaptive R Estimator (ARE)** を組み込んだ。**ARE** はベイズ推定によって、観測誤差共分散行列 **R** のパラメータを推定する手法である。まずアンサンブルから尤度を用意し、次に事前分布としてウィッシュャート分布を用いて繰り返し推定によって最適なパラメータを推定する。ウィッシュャート分布における二つのハイパーパラメータを適切に選択することで、**R** の滑らかさを制御可能とした。**ARE** を採用することで、粒子フィルタの退化を防ぐことが期待され、本研究ではこれを明らかにした (図略)。

さらに本研究では確率分布の非ガウス性評価手法を確立した。これは、粒子フィルタによって得られたアンサンブルに複数の確率分布モデルをあてはめ、適切なモデルを選択することで、アンサンブルが表現する確率分布の形状を分類するものである。アンサンブル $\{\mathbf{x}_i\}_{i=1}^N$ はベクトル **N** 個の集合であるが、ここではベクトルの成分ごとに確率分布モデルをあてはめる。すなわち、時刻・格子点・物理量 (風速などベクトル量は方向成分も) を指定し、それに対応する成分からなる 1 次元データ $\{\mathbf{x}_i\}_{i=1}^N$ に対して、ガウス分布、2 成分ガウス混合分布、ヒストグラムをあてはめる。これらの分布に対して、情報量規準 **BIC (Bayesian Information Criterion; Akaike, (1977), Schwarz, (1978))** を用いて最適となる分布モデルを判定した。

4.1a 実験設定

本研究では、観測システムシミュレーション実験 (**Observation System Simulation Experiment: OSSE**) を実施した。まず水平解像度 **15 km** で、アンサンブル平均を含む **51** メンバーの **NHM** 局所アンサンブルカルマンフィルタ (**Local Ensemble Transform Kalman Filter: LETKF; (Hunt et al., (2004)); NHM-LETKF(Kunii, (2013))**) を実行した。この結果をダウンスケールして解像度 **2 km** で関東領域を対象とした **51** メンバーの **LETKF** を実行した (**LETKF-2km**)。いずれも同化した観測データはゾンデなどの **conventional data** である。さらに **8月2日 21UTC** から関東北西部を切り出した領域で解像度 **2 km** のアンサンブル計算を行い、このうちの **1** メンバーを **OSSE** における **nature run** として用いた。

同化する観測データは、**nature run** より生成した。地上観測データとして、温位 (**PT**)、風 (東西成分 **U**、南北成分 **V**)、水蒸気混合比 (**QV**) を高度 **20m** に配置し、気象レーダーを模した空中の水物質として雨水量混合比 (**QR**) を高度 **0.84, 1.94, 3.49, 5.49 km** に配置した。**NHM-RPF** による同化実験は、**1000** メンバーを用い、**8月2日 21UTC** から **90** 分間である。

NHM-RPF によるデータ同化実験では、対象とする積乱雲の発生 (図 1) をよく再現し、発達した後の積乱雲の大きさや強度が **nature run** と極めて近い結果を得た。同化しない場合 (図略) 発生時刻が遅くなり、強度が大きく低下する結果であった。

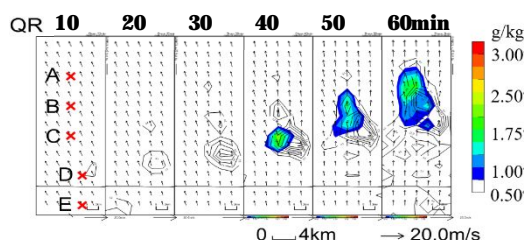


図 1 高度 **2.82km** における雨水量混合比 (**QR**) のアンサンブル平均。Kawabata and Ueno (2020) より引用。

4.1b 対流発生・発達に関する確率密度

図 1 の **A-E** グリッドにおける確率密度 (**PDF**) を図 2 に示す。これらの各点是对流の発生や発達に関わる地点およびこの領域への流入地点として選択した。

実験開始 **10** 分後では、**PT, QV**, 相対湿度 (**RH**)、上昇流 (**W**) について **PDF** は概ね正規分布となっているが、**QC** と **QR** は凝結のない領域 (**0 g kg⁻¹**) のみに分布している。このように水物質に関する確率密度は下限値が存在するとともに、条件が整わないと存在確率が **0** という性質があり、ガウス近似が有効でない理由となっている。また **D** グリッドにおける **W** の **PDF** はピークが中央から左に位置しており、歪んでいる事が分かる。**20** 分後には、**D** グリッドにおける **RH** が歪み、また **QV** の分布が広がっている。**RH** には **100%** という上限があり、これが一つの原因である。

30 分後には、**D** グリッドにおけるアンサンブル平均で湿度が **95%** を超え、雲水量も **0.5 g kg⁻¹** を超えた (図 4)。このような雲の発生と移動に伴い、**C** グリッドにおける雲水 (**QC**) の **PDF** においても **0 g kg⁻¹** より多い **QC** に対する確率が現れ、**RH** が **100%** のビンに確率が大きくなって、**QV, PT** とともに二山の確率密度分布を示している。これは湿度 **100%** を超えた時点で、水蒸気が雲水に変換されるために **QV** にもやはり上限が発生し、凝結熱によって **PT** が高くなるためである。しかし **PT** の上限は **RH, QV** ほど明確には見えない (図略)。

40 分になると雲が移動し、**C** グリッドにおいて **0.5 g kg⁻¹** 以上の雨水量混合比 (図 2) が見られ、**PDF** においても **1 g kg⁻¹** 以上の領域 (**x** 軸中央より右側) に分布が見られる。**QC** に対しては、**1 g kg⁻¹** の上限に多くの確率密度が達しており、これは **B** グリッドにおいても同様である。これは **JMANHM** に採用されている雲物理過程において、**1 g kg⁻¹** を閾値として雲水を雨水に変換する **auto-conversion** と呼ばれるスキームが実装されているためである。また **B, C**

グリッドともすべての PDF が非ガウス分布に変化している。すなわち対流の発生過程は極めて非ガウスのと言える。

このような過程はまず **W** から始まり、**RH** の上限値 **100%** を起源とする非ガウス性を通じて **QV** へ伝搬し、最終的に全変数が非ガウス分布となった。**50-60** 分後に掛けて、発生した積雲は、積乱雲へ発達しながら北上し、これに伴って非ガウス性も **A, B** グリッドへ移流した。

ここまで非ガウス性を PDF の形状から主観的に議論してきたが、**3** 節で述べた手法を用いて、客観的に非ガウス性を判定した。判定はシミュレーションモデルの各グリッド、各要素のアンサンブル集合に対して行い、その水平分布を図 **3** に示す。

W においては、**10** 分後の時点ですでに積雲発生地点に周りで非ガウス分布が広がっている。同様に **RH** でも非ガウス性が見られる。**PT** や **QV** については、**10** 分後の時点ではほぼ全域でガウス分布が選択された(図略)。また **PT** の非ガウス性は積雲発生とともにその面積を拡大する様子が観察できる。

非ガウス性がどこから発生しているのか、さらに詳しく調べるために、対流発生地点を通る鉛直断面図を示す。この領域には湿った気塊が存在しているが(図 **4b, c**) そのスプレッドは **RH** でわずか **2%** に満たない。一方で上昇流は **D** グリッドにおけるアンサンブル平均で **0.02 m s⁻¹** に対して、**0.14 m s⁻¹** のスプレッドであり、相対的に大きい。また中央値は **-0.01 m s⁻¹** で、上位 **100** メンバーによる平均値は **0.33 m s⁻¹** である。すなわち少数のメンバーのみが強い上昇流を表している。これは局地前線の位置やタイミングがメンバーによって異なるために生まれた変動であるかもしれない。

D グリッドにおける **W** と **QV** の高い相関(図 **4b**) が境界層上部に水平に広がっている。また、**W** は局地前線面を超えて上下に強い自己相関を持っている。これらの事実から、局地前線面における上昇流が水蒸気を鉛直輸送し、対流の発生につながったと考えられる。すなわち、**W** の大きなスプレッドが対流発生の際の大きなスプレッドにつながっており、非ガウス性を生じさせたと推測される。このような大きなスプレッドは **BIC** による統計モデル選択では非ガウスとなっていることが確認できる(図 **8c**)。特に **D** グリッドの上下層では非ガウス性が卓越している。すなわち水平分布で確認した非ガウス性の起源であった **W** は、鉛直にもその非ガウス性を広げていた。

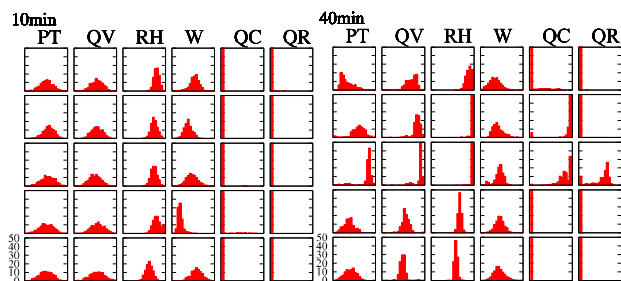


図2 **QR** の **A, B, C, D, E** (下段から上段、図1参照) グリッドにおける確率密度分布(%)。X軸は **0.1** から **10.0 g kg⁻¹** の間がかつ対数に設定。**Kawabata and Ueno (2020)**より引用。

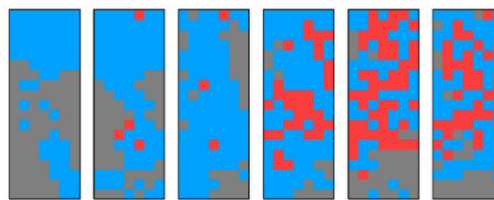
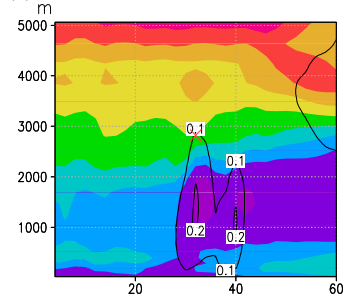
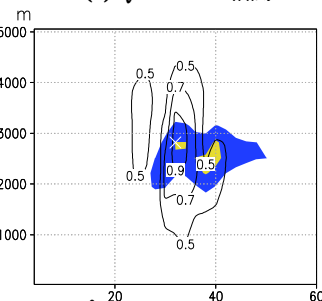


図3 高度 **2.82 km** における **W** に対する選択された統計モデル。図1と同領域。灰色、青、赤はそれぞれガウス、混合ガウス、ヒストグラムを表す。**Kawabata and Ueno (2020)**より引用。

(a) **RH** と **W** のスプレッド



(b) **QV** と **W** の相関



(c) 統計モデル (**W**)

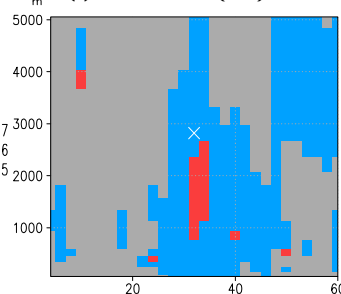


図4 対流発生地点を通る断面図線。(a) **RH** のスプレッド(シェード)と **W** (コンター)、(b) **QV** と **W** の相関(シェード)と **D** グリッドからの **W** の自己相関(コンター)、そして(c) **W** に対する選択された統計モデル。時刻は実験開始 **10** 分後。**Kawabata and Ueno (2020)**より引用。

4.2 非ガウス性を考慮したアンサンブルデータ同化

大気のマルチスケールデータ同化の方法として、アンサンブルカルマンフィルタ(**EnKF**)に **PV inversion** を用いる方法を提案した。この方法では、予測値をバランス場と非バランス場に分解し、両者の間の誤差相関を無視することによってサンプリングエラーを軽減させる。浅水

モデルに仮想的な観測データを同化した数値実験を実施した。またメンバー数や観測データの種類を変えたデータ同化実験を行って、本手法の有用性を確かめた。これら一連の実験から、メンバー数が小さいほど本手法が有効であることが確かめられた。

さらに非ガウス性が大きい場合のデータ同化法として、アンサンブルカルマンフィルタに深層学習によるデータ同化を局所的に埋め込む方法の有効性を明らかにした。数値モデルには **Lorenz-96** モデル (**40** 変数, 強制項 **F=8**) を用い、**EnKF** は **10** メンバーとした。今回は、深層学習における局所化の影響を検討し、また教師データに大アンサンブル **EnKF** の解析値を用いる場合などを調べた。その結果、メンバー数が小さく、非ガウス性が強いケースにおいて本手法が有効であることが分かった。

4.3 アンサンブルデータを用いた気象場解析手法

多数のデータから気象現象を解析する方法として特異値分解 (**SVD**) 解析やアンサンブル感度解析 (**ESA**) がある。しかし一般的な **SVD** 解析は気候学的な相互共分散行列を用いるため豪雨のような特定の現象のみに着目した解析を行うことは困難である。一方 **ESA** では特定の現象に着目した解析が可能であるがある特定の物理量との線形な関係しか得られないため複数の要因が関係する複雑な現象の解析は難しい。そこで本研究では「アンサンブル **SVD** (**ESVD**) 解析」を考案しこれによって特定の豪雨事例における大気場と降水の関係を多面的に明らかにすることを試みた。その結果、**SVD** 解析により平成 **30** 年 **7** 月豪雨について前線の位置を決める総観スケールの要因と線状降水帯を形成するメソスケールの要因を同時に見出すことができた。このように **ESVD** 解析はアンサンブル予報を用いて気象現象の要因を解析する強力な手法の **1** つになり得ると考えられる。

4.3 まとめと議論

気象庁非静力学モデルに **SIR** に基づく粒子フィルタを実装した (**NHM-RPF**)。本システムの特徴は観測誤差の動的推定 (**ARE**) によりフィルタ発散を緩和するところにある。

NHM-RPF を用いて観測システムシミュレーション実験を実施した。実験は積乱雲の発生前から発達までの **90** 分間を対象に、水平解像度は **2 km**、アンサンブルサイズは **1000**、同化間隔は **10** 分、地上観測データ、レーダー観測データを模したネットワークを設定した。第一推定値と比べてところ、積乱雲の発生・発達予測に対して、大きく改善した。

非ガウス分布としてガウス混合分布とヒストグラムを用意し、ベイズ情報量規準 (**BIC**) を用いてガウス分布より当てはまりのよい分布モデルを判定することで、客観的にガウス分布ではないグリッドを抽出する手法を開発した。**BIC** による非ガウス性とスプレッドを併せて議論した。

水平分布から上昇流 (**W**) と相対湿度 (**RH**) に対して、積雲発生領域で非ガウス性が見られ、それぞれスプレッドも大きいことが分かった。温位 (**PT**)、水蒸気混合比 (**QV**) とともにスプレッドが大きい、非ガウス分布は選択されなかった。この領域は時間とともに拡大し、**PT**、**QV** も非ガウスとなった。

積雲発生領域の鉛直断面図から、**W** の非ガウス性が鉛直方向に分布しており、これによって **QV** が局地前線上端に輸送され、積雲発生をもたらしたことが分かった。すなわち局地前線の位置や強度がメンバーによってばらついていることによって生まれたと考えられる **W** のばらつきが非ガウスとなり、積乱雲の発達・移動とともに領域全体および全変数が非ガウスとなった。以上より、積乱雲の発生・発達の予測プロセスは非ガウスであり、その起源が境界層上部の上昇流にあることが分かった。従って、非線形性・非ガウス性はカオス性と密接な関係があり、これは予測可能性を決定づけている。本研究において、局地前線面における上昇流が積乱雲の予測可能性を決めていることが示唆された。

さらに非ガウス性が高いときでもアンサンブル数を少なくできる研究にも取り組んだ。**PV inversion** を用いる手法と機械学習と組み合わせる手法の **2** つを提案し、それぞれ有効性を確かめた。また大アンサンブルデータを活用する手法として、**ESVD** 解析を提案し、線状降水帯を形成する気象要因を明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kawabata Takuya, Ueno Genta	4. 巻 148
2. 論文標題 Non-Gaussian Probability Densities of Convection Initiation and Development Investigated Using a Particle Filter with a Storm-Scale Numerical Weather Prediction Model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Weather Review	6. 最初と最後の頁 3~20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/MWR-D-18-0367.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 上野玄太	4. 巻 67
2. 論文標題 粒子フィルタとデータ同化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 統計数理	6. 最初と最後の頁 241-253
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kondo Keiichi, Miyoshi Takemasa	4. 巻 26
2. 論文標題 Non-Gaussian statistics in global atmospheric dynamics: a study with a 10 ²⁴⁰ -member ensemble Kalman filter using an intermediate atmospheric general circulation model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nonlinear Processes in Geophysics	6. 最初と最後の頁 211~225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/npg-26-211-2019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 TSUYUKI Tadashi	4. 巻 97
2. 論文標題 Ensemble Kalman Filtering Based on Potential Vorticity for Atmospheric Multi-scale Data Assimilation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II	6. 最初と最後の頁 1191~1210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/jmsj.2019-067	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawabata, T., H.-S. Bauer, T. Schwitalla, V. Wulfmeyer, and A. Adachi	4. 巻 96A
2. 論文標題 Evaluation of forward operators for polarimetric radars aiming for data assimilation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Meteor. Soc. Japan	6. 最初と最後の頁 157-174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/jmsj.2018-017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kawabata, T., T. Schwitalla, A. Adachi, H.-S. Bauer, V. Wulfmeyer, N. Nagumo, and H. Yamauch	4. 巻 11
2. 論文標題 Observational operators for dual polarimetric radars in variational data assimilation systems (PolRad VAR v1.0)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geosci. Model Dev.	6. 最初と最後の頁 2493-2501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/gmd-11-2493-2018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 上野玄太	4. 巻 56
2. 論文標題 データ同化	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 656-661
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11499/sicejl.56.656	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計40件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 川畑拓矢, 上野玄太
2. 発表標題 NHM-RPFを用いた観測誤差の動的推定?
3. 学会等名 非勢力学モデルに関するワークショップ?
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kawabata, T, G. Ueno
2. 発表標題 Annual Meeting of European Meteorological Society
3. 学会等名 What is the source of chaos in MCS?? (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川畑拓矢, 上野玄太
2. 発表標題 MCSにおけるカオスの起源を探る?
3. 学会等名 メソ気象セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ueno, G.
2. 発表標題 Adaptive Estimation of the Observation-error Covariance and its Application to Particle Filtering
3. 学会等名 AOGS2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上野玄太
2. 発表標題 数値予報モデルと粒子フィルタ
3. 学会等名 統数研-東北大ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上野玄太
2. 発表標題 ヒストグラムモデルの情報量規準
3. 学会等名 名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究集会 「宇宙地球環境の理解に向けての統計数理的アプローチ」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上野玄太
2. 発表標題 ヒストグラムモデルの情報量規準
3. 学会等名 統計数理研究所公募型共同利用研究集会 データサイエンスの新展開：応用と数理
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ueno, G.
2. 発表標題 Bayesian estimation of the observation-error covariance and its application to particle filtering
3. 学会等名 High Dimensional and Bayesian Inference toward Quantifying Real-World Uncertainties (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤圭一、三好建正
2. 発表標題 背景誤差の非ガウス分布を考慮したアンサンブル同化手法
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kondo, K., T. Miyoshi
2 . 発表標題 Non-Gaussian statistics in global atmospheric dynamics with a 10240-member ensemble Kalman filter experiment using an intermediate AGCM
3 . 学会等名 米国地球物理学連合秋季大会 (AGU 2019 Fall meeting) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Miyoshi, S. Kotsuki, K. Kondo, R. Potthast
2 . 発表標題 Local Particle Filter Implemented with Minor Modifications to the LETKF Code
3 . 学会等名 米国地球物理学連合秋季大会 (AGU 2019 Fall meeting) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Miyoshi, S. Kotsuki, K. Kondo, R. Potthast
2 . 発表標題 Local Particle Filter Implemented with Minor Modifications to the LETKF Code
3 . 学会等名 AMS Annual Meetings (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Kawabata, T., and G. Ueno
2 . 発表標題 What is the source of chaos in MCS?
3 . 学会等名 ICMCS-XIII (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 川畑拓矢, 上野玄太
2. 発表標題 雲解像粒子フィルタを用いた積乱雲の発生・発達に関する確率分布解析
3. 学会等名 第32回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川畑拓矢, 上野玄太
2. 発表標題 雲解像粒子フィルタを用いた積乱雲の発生・発達に関する確率分布解析
3. 学会等名 日本気象学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kawabata, T., and G. Ueno
2. 発表標題 Non-Gaussian PDFs on Convection Initiation with a Particle Filter
3. 学会等名 データ同化ワークショップ(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川畑拓矢
2. 発表標題 二重偏波レーダーデータ同化観測演算子の開発とその性能評価
3. 学会等名 衛星シミュレータ研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kawabata, T., and G. Ueno
2. 発表標題 A storm-scale particle filter for investigating predictability of convection initiation and development
3. 学会等名 Workshop on Sensitivity Analysis and Data Assimilation in Meteorology and Oceanography (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kawabata, T., and G. Ueno
2. 発表標題 Development of a storm-scale particle filter for investigating predictability of convection initiation and development
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kawabata, T., and G. Ueno
2. 発表標題 On Non-Gaussian Probability Densities on Convection Initiation and Development using a Particle Filter with a Storm-Scale Numerical Weather Prediction Model
3. 学会等名 International Symposium on Data Assimilation 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kawabata, T., and G. Ueno
2. 発表標題 A Study on Non-Gaussian Probability Densities on Convection Initiation and Development using a Particle Filter with a Storm-Scale Numerical Weather Prediction Model
3. 学会等名 The 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 露木 義
2. 発表標題 PV inversionを用いたアンサンブルカルマンフィルタ (第2報)
3. 学会等名 日本気象学会2018年度春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 住友雅司, 露木 義
2. 発表標題 PV inversionを用いたアンサンブルデータ同化の研究
3. 学会等名 日本気象学会2018年度春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsuyuki, T.
2. 発表標題 An ensemble Kalman filter using potential vorticity for atmospheric multi-scale data assimilation
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Data Assimilation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ueno, G.
2. 発表標題 Bayesian estimation of the observation-error covariance matrix and its application to particle filtering
3. 学会等名 Workshop on Computational Statistics and Machine Learning (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上野玄太
2. 発表標題 Name, analogy, and collaboration
3. 学会等名 ROIS/I-URIC 若手研究者クロストーク（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上野玄太
2. 発表標題 観測誤差共分散行列の推定と粒子フィルタ
3. 学会等名 情報・システム研究機構 データサイエンス共同利用基盤施設 共同研究集会「データ科学の応用と展望」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上野玄太
2. 発表標題 当たるシミュレーションを作る：データ同化の考え方
3. 学会等名 第22回若手科学者によるプラズマ研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ueno, G.
2. 発表標題 Data assimilation and optimal error covariance
3. 学会等名 2nd ISM-ZIB-IMI MODAL Workshop（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上野玄太
2. 発表標題 データ同化システム構築の次の方法
3. 学会等名 SICE制御部門データ科学とリンクした次世代の適応学習制御調査研究会第1回講義会「データ同化とデータ駆動型の科学」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上野玄太
2. 発表標題 気象予測の舞台裏：シミュレーションとアンサンブル
3. 学会等名 大学共同利用機関シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上野玄太
2. 発表標題 結合モデルへのデータ同化
3. 学会等名 名古屋大学宇宙地球環境研究所研究集会「宇宙環境の理解に向けての統計数理的アプローチ」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川畑拓矢
2. 発表標題 NHMを用いた粒子フィルタの開発に向けて
3. 学会等名 第3回アンサンブルデータ同化摂動に関する研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川畑拓矢, 上野玄太, 国井勝, 瀬古弘, 橋本明弘
2. 発表標題 粒子フィルタを用いた積乱雲の発生・発達に関する不確実性の解明にむけて
3. 学会等名 2017年度日本気象学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川畑拓矢, 上野玄太, 国井勝, 瀬古弘, 橋本明弘, 露木義
2. 発表標題 雲解像NHM-PFの開発
3. 学会等名 第4回アンサンブルデータ同化摂動に関する研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kawabata, T., H. Yamauchi, N. Nagumo, and A. Adachi
2. 発表標題 Development of Assimilation Methods for Dual Polarimetric Radar Data
3. 学会等名 Workshop on Dual Polarimetric Radar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kawabata, T. and G. Ueno
2. 発表標題 Development of a storm-scale particle filter for investigating predictability of convection initiation and development
3. 学会等名 6th International Symposium on Data Assimilation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ueno, G.
2. 発表標題 Bayesian estimation of the observation error covariance matrix in ensemble-based filters
3. 学会等名 6th International Symposium on Data Assimilation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 栗花卓弥, 川畑拓矢
2. 発表標題 二重偏波パラメータに関する統計調査
3. 学会等名 2018年度気象学会春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上野玄太
2. 発表標題 アンサンブル予報と確率分布推定
3. 学会等名 第81回CAVE研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 上野玄太(共同執筆)	4. 発行年 2017年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 1600
3. 書名 人工知能学大辞典	

1. 著者名 Kawabata, T. and Y. Shoji (共同執筆)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 InTech	5. 総ページ数 in press
3. 書名 Multifunctional Operation and Application of GPS	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	上野 玄太 (Ueno Genta) (40370093)	統計数理研究所・モデリング研究系・教授 (62603)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------