

AAS02-01

会場:314

時間:4月29日 09:00-09:30

エントロピー平衡論とフィールドラグランジアンの変分形式
Entropic Balance Theory and Variational Field Lagrangian Formalism

佐々木 嘉和^{1*}
SASAKI, Yoshi kazu^{1*}

¹ オクラホマ大学
¹University of Oklahoma

NA

最も確からしい状態の決定論的予測可能性と変分法データ同化の再定式化 Deterministic predictability of the most probable state and reformulation of variational data assimilation

露木 義^{1*}
TSUYUKI, Tadashi^{1*}

¹ 気象研究所

¹ Meteorological Research Institute

Four-dimensional variational data assimilation (4DVar) and ensemble Kalman filter (EnKF) have been widely used for data assimilation in meteorology and oceanography. Since prior probability density functions (PDFs) used in 4DVar and EnKF are usually assumed to be Gaussian, those two methods may not work well for a strongly nonlinear system. Thus data assimilation with nonlinear systems or non-Gaussian PDFs is a challenge in geophysics. Theoretical study of the two methods for nonlinear systems may be expected to provide insight for further advancement of data assimilation. The present study addresses this issue by reformulating variational data assimilation.

A necessary condition for deterministic predictability may be that the forecast state starting from the most probable state at an initial time remains close to the most probable state at a forecast time. It is found from the Liouville equation that if the trace of the Jacobian matrix of a deterministic nonlinear system does not depend on the state variables (hereafter referred to as the trace condition), the mode of a PDF of the state variables evolves according to the governing equations of the system. A condition for the forecast state to be close to the mode of the PDF is derived under an assumption of small prediction error for general deterministic nonlinear systems. This condition depends on the sensitivity of the trace to an initial condition, the size of initial condition error, and the length of forecast lead time.

Since the dynamical cores of numerical models of the atmosphere and the ocean are based on fluid dynamics, it is interesting to examine whether the governing equations of fluid dynamics satisfy the trace condition. The trace of the Jacobian matrix is calculated for finite-dimensional analogs of several Eulerian equations of ideal fluids. It is readily found that the trace condition generally holds for unbounded fluids under periodic boundary conditions. It is shown that the trace condition also holds for the quasigeostrophic equations with rigid boundaries, the Boussinesq approximation with rigid boundaries, and the shallow water equations on a sphere, by expanding the state variables in eigenfunctions of the Laplacian operator or the curl operator. The shallow water equations in a channel and compressible fluid with top and bottom boundaries do not satisfy the trace condition due to divergence at the boundaries.

A new formulation of variational data assimilation is presented for deterministic nonlinear systems that satisfy the trace condition. Though the cost function in the new formulation takes the same form as the conventional one, it makes clear an advantage of 4DVar over EnKF. If the trace condition holds, the forecast state starting from the mode of the posterior PDF at the last analysis time is the mode of the prior PDF. In the new formulation, the logarithm of the prior PDF is expanded around the forecast state, and covariance globalization is introduced to take into account the global distribution of the prior PDF that may be non-Gaussian. A feasible method for the covariance globalization may be to replace the local covariance matrix at the mode with a forecast error covariance matrix taken from EnKF. It is proved that a non-Gaussian prior PDF that evolves according to the Liouville equation is implicitly used for assimilating observational data in 4DVar. Results from an assimilation experiment with a toy model suggest that 4DVar thus formulated outperforms EnKF if the global minimum of the cost function is found.

Finally, it is pointed out that enough observational data are necessary for variational data assimilation to work well for a deterministic nonlinear system that does not satisfy the trace condition. Otherwise, EnKF and ensemble prediction may be a better choice for data assimilation and prediction of the system.

キーワード: 変分法データ同化, 決定論的予測可能性, 非ガウス性

Keywords: variational data assimilation, deterministic predictability, non-Gaussianity

Modal analysis of near-bank velocity profiles in a tidal river. Modal analysis of near-bank velocity profiles in a tidal river.

Wells John^{1*}; PHAN Tuy¹; NGUYEN Linh V.¹; SUSUKI Yoshihiko²; BONNER James³; ISLAM Mohammad S.³; KIRKEY William D.³
WELLS, John^{1*}; PHAN, Tuy¹; NGUYEN, Linh V.¹; SUSUKI, Yoshihiko²; BONNER, James³; ISLAM, Mohammad S.³; KIRKEY, William D.³

¹Ritsumeikan University, ²Kyoto University, ³Clarkson University
¹Ritsumeikan University, ²Kyoto University, ³Clarkson University

We apply two decompositions to long-beam velocities of a 600 kHz 3-beam Horizontal Acoustic Doppler Current Profiler (HADCP) at West Point on the Hudson River Estuary, so as to efficiently characterize the spatiotemporal variation of near-bank velocity. One main motivation is to test statistical tools with which to benchmark computations. The HADCP is deployed next to the USGS gauging station at West Point, some 100 km upriver from Manhattan, on the inner bank downstream of a sharp bend and its associated 40 m deep trough. We analyzed a time series of 1-minute averages from October 2011, out to 80 meters from the bank with 1 m bins.

The first decomposition we apply is Principal Component Analysis. The PCA generates an optimally convergent set of spatial eigenfunctions or "principal components" (PC), with which are associated temporally-varying amplitudes called "temporal coefficients". The first principal component captures more than 96.3% of the variance in velocity measured along the three HADCP beams, while the second PC captures about 2%. There appears an asymmetry between ebb and flood, as seen clearly from a phase plot of the temporal coefficient of the first PC versus that of the second.

The second is Fourier-based Koopman Mode Decomposition, i.e. decomposition into harmonic averages of the measurement vector. KMD associates a spatial structure with each of a series of temporal frequencies. For Oct 2011, the semidiurnal mode captured 74.33% of the variance. KMD also quantifies the phase lags at different distances from the river bank (and between normal and tangential velocity). Phase lags of tangential velocity between 10 and 80 m from the bank were about 1 hour for the semidiurnal mode, and 2 hours for the first (with a period of about 6 hours.), and this difference grew to a factor of four when considering flow within 10 m.

キーワード: principal component analysis, Koopman mode decomposition, ebb-flood asymmetry
Keywords: principal component analysis, Koopman mode decomposition, ebb-flood asymmetry

海洋大循環モデルの接線型・アジョイントコードを用いた北太平洋中層水の移動経路特定
Pathways of the North Pacific Intermediate Water identified through the tangent linear and adjoint codes of an OGCM

藤井 陽介^{1*}; 中野 俊也²; 碓氷 典久¹; 松本 聡²; 辻野 博之¹; 蒲地 政文¹
FUJII, Yosuke^{1*}; NAKANO, Toshiya²; USUI, Norihisa¹; MATSUMOTO, Satoshi²; TSUJINO, Hiroyuki¹; KAMACHI, Masafumi¹

¹ 気象研, ² 気象庁

¹Meteorological Research Institute, ²Japan Meteorological Agency

We develop a strategy of tracing a target water mass, and apply it for analyzing the pathway of the North Pacific Intermediate Water (NPIW) from the subarctic gyre to the northwestern part of the subtropical gyre south of Japan in a simulation of an ocean general circulation model. This strategy estimates the pathway of the water mass that travels from an origin to a destination area during a specific period using a conservation property concerning tangent linear and adjoint models. In our analysis, a large fraction of the low salinity origin water mass of NPIW initially comes from the Okhotsk and Bering Seas, meets at the southeastern side of the Kuril Islands, and is advected to the Mixed Water Region (MWR) by the Oyashio current. It then enters into the Kuroshio Extension (KE) around the first KE ridge, and is advected eastward by the KE current. It, however, deviates southward from the KE axis around 158E over the Shatsky Rise, or around 170E on the western side of the Emperor Seamount Chain, and enters into the subtropical gyre. It is finally transported westward by the recirculation flow. This pathway corresponds well to the shortcut route of NPIW from MWR to the region south of Japan inferred from the analysis of the long-term freshening trend of NPIW observation.

キーワード: Adjoint, Sensitivity analysis, North Pacific Intermediate Water, Kuroshio Extension, Oyashio
Keywords: Adjoint, Sensitivity analysis, North Pacific Intermediate Water, Kuroshio Extension, Oyashio

4次元変分法を用いた入れ子海洋モデルの最適化 Optimization of nested ocean circulation model by four dimensional variational data assimilation system

若松 剛^{1*}; 石川 洋一¹
WAKAMATSU, Tsuyoshi^{1*}; ISHIKAWA, Yoichi¹

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

領域海洋モデルのデータ同化技術による最適化は初期値及び境界値を含む外力項の最適化により達成される。最適化された広域モデルと入れ子技術により接続された領域モデルのデータ同化システムでは、これら制御変数を通して広域モデルの情報を効率良く領域モデルに反映させる事が必須であり、大気及び海洋の領域データ同化システムで多くの技術が提案されてきた。本発表ではこれまでに提案されている4次元変分法による入れ子領域モデルの最適化手法を統一化された視点で整理する。また日本列島を囲む領域海洋同化システムを用い、可観測性行列による領域変分法同化システムの解析についても述べる。

キーワード: データ同化, 領域海洋循環モデル

Keywords: data assimilation, regional ocean circulation model

Estimated State of Ocean for Climate Research by Using a 4 Dimensional Variational approach

Estimated State of Ocean for Climate Research by Using a 4 Dimensional Variational approach

増田 周平^{1*}; 土居 知将¹; 長船 哲史¹; 杉浦 望実¹; 石川 洋一¹; 福田 和代¹
MASUDA, Shuhei^{1*}; DOI, Toshimasa¹; OSAFUNE, Satoshi¹; SUGIURA, Nozomi¹; ISHIKAWA, Yoichi¹; FUKUDA, Kazuyo¹

¹JAMSTEC

¹JAMSTEC

A 4-dimensional variational data assimilation system has been used to better define the 50-year global ocean state estimation for climate research. The synthesis of available observations and general circulation model with a pelagic ecosystem model based on nitrogen cycle yields a dynamically self-consistent dataset. Obtained ocean state estimation possibly has greater information than do models or data alone. In our 4D-VAR approach, optimized 4-dimensional analysis fields are sought by minimizing a cost function on the basis of adjoint method for physical parameters and Green's function approach for biogeochemical ones. The assimilated elements are temperature and salinity based on EN3 dataset provided by Met Office Hadley Centre, sea surface height anomaly from AVISO, nitrate from WOA05, and chlorophyll-a from WOA98 and SeaWiFS. We here present the properties of the analysis fields and some results of climate study by using this state estimation named ESTOC. This report implies that our synthesis scheme as a dynamical interpolation for sparse observations including bio-geochemical parameters is possibly promising and useful for " Integrated Earth System Analyses " .

キーワード: データ同化, 海洋, 気候変動

Keywords: data assimilation, ocean, climate change

海洋・気候研究のためのデータ同化 Data assimilation for ocean and climate study

石川 洋一^{1*}; 西川 史郎¹; 増田 周平¹; 豊田 隆寛²; 杉浦 望実¹; 若松 剛¹; 西川 悠¹; 佐々木 祐二¹; 五十嵐 弘道¹; 田中 祐介¹; 淡路 敏之³
ISHIKAWA, Yoichi^{1*}; NISIKAWA, Shiro¹; MASUDA, Shuhei¹; TOYODA, Takahiro²; SUGIURA, Nozomi¹; WAKAMATSU, Tsuyohi¹; NISIKAWA, Haruka¹; SASAKI, Yuji¹; IGARASHI, Hiromichi¹; TANAKA, Yusuke¹; AWAJI, Toshiyuki³

¹ 海洋研究開発機構, ² 気象研究所, ³ 京都大学

¹JAPAN Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Meteorological Research Institute, ³Kyoto University

データ同化手法は数値天気予報のための初期値化を行う手法として発展してきたが、近年他の分野への応用が積極的に行われている。海洋分野でもいわゆる「海の天気予報」とよばれる海況予報に加えて、データ同化を利用したいくつかのユニークな研究が進められている。本講演ではそのような海洋・気候分野で特徴的なデータ同化を利用した研究についていくつか紹介したい。

その1つが海洋研究開発機構で開発を進めている4次元変分法を用いた大気海洋結合データ同化システムである(Sugiura et al., 2008)。このシステムは季節から経年変動スケールをターゲットとした統合データと季節予報のための初期値作成を目的としたものであり、大気海洋結合モデルに対するアジョイントモデルを用いて、大気・海洋双方の観測データを整合的に同化することを可能としている。中でもこのシステムに特徴的な点は、季節から経年変動という比較的長いスケールを対象としているので、海洋の初期値に加えて、大気海洋間のフラックスを修正するために、バルク係数についても制御変数として推定していることがあげられる。これにより、大気の下境界条件が修正され、大気海洋結合系の季節スケール変動の再現性が向上していることが示された。現在は、このシステムに海洋低次生態系モデルの組み込みも行われ、物理変数だけでなく海洋中の生物化学プロセスについての季節予報も行うことが出来るようになってきている。

海洋の長期間の解析データセットについても興味深いシステムが開発されている。4次元変分法を用いた海洋データ同化システム(Masuda et al., 2010)は、いわゆる強拘束条件を用いることにより数値モデルの力学を完全に満たしながら50年間の海洋観測データの同化を行っており、作られた統合データセットは、気候変動研究のための様々な解析に用いることができる。特に、数値モデル力学を完全に満たしているということは、再現された水温場などが保存則を満たしていることを意味しており、海洋中の3次元的水・熱輸送の時間変動、すなわち4次元的水・熱フローの解析に非常に適している。また、数値モデルの力学を満たしているという特徴はトレーサー解析にも有効であり、これを利用して海洋生態系モデルの物理環境場としても利用することにより、物質循環プロセスの解明にも役立てられている。

海洋低次生態系モデルに対するデータ同化も、海洋中の炭素循環などの生物化学過程を再現するために、近年非常に注目されている研究テーマである。生態系モデルでは用いられているパラメータの推定が難しく、また地域によっても異なると考えられていることから、データ同化によってモデルパラメータを推定する試みが行われ、現実的な生物化学過程の再現に成功している(Toyoda et al., 2013.)。

以上のように、データ同化システムはモデルの初期値化だけでなく、パラメータ推定や長期間の状態推定など幅広い応用をみせており、これらの利用方法は特に様々な分野への展開を考える際には非常に有益な情報となるであろう。

Development of an ensemble-based data assimilation system with a coupled atmosphere-ocean GCM

Development of an ensemble-based data assimilation system with a coupled atmosphere-ocean GCM

小守 信正^{1*}; 榎本 剛²; 三好 建正³; 山崎 哲¹; 田口 文明¹
KOMORI, Nobumasa^{1*}; ENOMOTO, Takeshi²; MIYOSHI, Takemasa³; YAMAZAKI, Akira¹; TAGUCHI, Bunmei¹

¹ 海洋研究開発機構地球シミュレータセンター, ² 京都大学防災研究所, ³ 理化学研究所計算科学研究機構

¹Earth Simulator Center, JAMSTEC, ²Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, ³RIKEN Advanced Institute for Computational Science

To enhance the capability of the local ensemble transform Kalman filter (LETKF) with the Atmospheric general circulation model (GCM) for the Earth Simulator (AFES), a new system has been developed by replacing AFES with the Coupled atmosphere-ocean GCM for the Earth Simulator (CFES). An initial test of the prototype of the CFES-LETKF system has been completed successfully, assimilating atmospheric observational data (NCEP PREPBUFR archived at UCAR) every 6 hours to update the atmospheric variables, whereas the oceanic variables are kept unchanged throughout the assimilation procedure.

An experimental retrospective analysis-forecast cycle with the coupled system (CLERA-A) starts on August 1, 2008, and the atmospheric initial conditions (63 members) are taken from the second generation of AFES-LETKF experimental ensemble re-analysis (ALERA2). The ALERA2 analyses are also used as forcing of stand-alone 63-member ensemble simulations with the Ocean GCM for the Earth Simulator (EnOFES), from which the oceanic initial conditions for the CLERA-A are taken.

The ensemble spread of SST is larger in CLERA-A than in EnOFES, suggesting positive feedback between the ocean and the atmosphere. Although SST in CLERA-A suffers from the common biases among many coupled GCMs, the ensemble spreads of air temperature and specific humidity in the lower troposphere are larger in CLERA-A than in ALERA2. Thus replacement of AFES with CFES successfully contributes to mitigate an underestimation of the ensemble spread near the surface resulting from the single boundary condition for all ensemble members and the lack of atmosphere-ocean interaction.

In addition, the basin-scale structure of surface and subsurface ocean temperature in the tropical Pacific is well reconstructed from the ensemble correlation in CLERA-A but not in EnOFES. This suggests that use of a coupled GCM rather than an oceanic GCM could be important even for oceanic analysis with an ensemble-based data assimilation system.

LETKFの双方向ネストシステムを用いたGNSS稠密観測で観測した水蒸気データの同化実験 Data assimilation experiment of water vapor data derived from a hyper-dense GNSS network using a nested LETKF system

大井川 正憲^{1*}; 津田 敏隆¹; Realini Eugenio¹; 岩城 悠也¹; 瀬古 弘²; 小司 禎教²; 佐藤 一敏³
OIGAWA, Masanori^{1*}; TSUDA, Toshitaka¹; REALINI, Eugenio¹; IWAKI, Yuya¹; SEKO, Hiromu²; SHOJI, Yoshinori²; SATO, Kazutoshi³

¹ 京都大学生存圏研究所, ² 気象庁気象研究所, ³ 宇宙航空研究開発機構

¹Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University, ²Meteorological Research Institute (MRI), Japan Meteorological Agency (JMA), ³Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

局地的な豪雨現象の予報精度を向上させるには、数値計算モデルの高解像度や高精度化に加え、高密度・高頻度な観測データを同化して、より詳細で正確な初期値を作成する必要がある。特に、水蒸気分布は、積乱雲の発生や発達に大きく寄与するため、これまでに、豪雨を対象にした同化実験により、GNSS (Global Navigation Satellite System) 測位によって得られた可降水量 (受信機上空の鉛直積算水蒸気量) が、数値予報の初期値の水蒸気分布を改善し、降水予報の精度を向上させたという報告がなされている。現在、気象庁では、国土地理院が運用している全国 GNSS 連続観測システム (GEONET、水平分解能約 20 km) で観測された可降水量を同化しているが、今後、さらに数値モデルや解析のスケールが高解像度化した場合には、より高密度・高頻度な可降水量データが必要になると期待される。そこで、我々は京都大学宇治キャンパスの西方の領域で、GNSS 受信機を 1km 間隔に配置した稠密観測を行い (Sato et al., 2013)、その観測網で得られた可降水量データを用いて、豪雨の降水予報に対する高密度・高頻度なデータのインパクトを調べた。

本報告の同化実験に用いる同化システムは、アンサンブルカルマンフィルタの一種である局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (LETKF) の双方向ネスティングシステムである (Seko et al., 2013)。実験の対象事例として、6 時間で約 260 mm の降水をもたらした 2012 年 8 月 14 日の宇治豪雨を選んだ。同化実験では、まず、水平解像度 15 km の親モデルに GEONET の可降水量データを 6 時間の解析ウィンドウで 1 時間毎に同化し、その後、ネスティングした水平解像度 1.875 km の子モデルで、GNSS 稠密観測で得られた可降水量データを 1 時間の同化ウィンドウで 10 分毎に同化した。これらの同化実験では、可降水量データに加えて、気象庁の現業で利用されている地表及び高層観測データも同化している。

親及び子モデルに可降水量データを同化しなかった実験では、再現された降水域は、実況に比べて、位置がずれていて、降水強度も弱いものであった。親モデルに GEONET の可降水量データを同化し、子モデルに可降水量データを同化しなかった実験では、降水強度には変化が見られなかったが、降水域の位置ずれが修正されて実況に近づいた。さらに、親モデルに GEONET の可降水量データを同化し、子モデルに GNSS 稠密観測の可降水量を同化すると、位置ずれに加えて、降水強度も修正された。

以上の結果は、高密度・高頻度な可降水量データの局地的豪雨の予報に対する有効性を示している。今後は、稠密観測網の観測点数を変化させた同化実験を行って、降水予報に対する高密度な可降水量データの効果の現れ方について調べる予定である。発表では、可降水量に加え、受信機から衛星までの視線方向の積算水蒸気量の同化実験結果についても報告する予定である。

キーワード: データ同化, 局地豪雨, GNSS 稠密観測, nested LETKF

Keywords: Data assimilation, local heavy rainfall, Hyper-dense GNSS observation, nested LETKF

NHM-LETKFを用いた台風同化実験 Data assimilation experiments of tropical cyclones with the NHM-LETKF

国井 勝^{1*}
KUNII, Masaru^{1*}

¹ 気象研究所
¹ Meteorological Research Institute

Intensity forecast of tropical cyclones (TCs) has still been a challenging task whereas TC track forecasts have constantly improved over the past several decades owing to advances in numerical weather prediction models as well as observational capabilities. This is partly due to the difficulties in TC initialization because TCs occur and remain almost throughout their existence over the ocean, where observational data have generally been scarce. In this study, TC vital observations are assimilated with an ensemble Kalman filtering, and their impacts are estimated by comparing with the conventional bogus assimilation scheme.

キーワード: データ同化, アンサンブルカルマンフィルタ, 台風
Keywords: data assimilation, ensemble Kalman filter, tropical cyclone

Tropical cyclone forecast using a hybrid EnKF-4DVar system

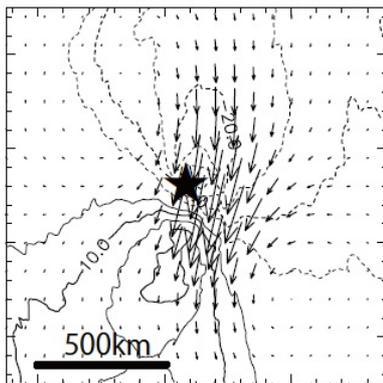
伊藤 耕介^{1*}; 国井 勝²; 川畑 拓矢²; 斉藤 和雄²; 本田 有機³
ITO, Kosuke^{1*}; KUNII, Masaru²; KAWABATA, Takuya²; SAITO, Kazuo²; HONDA, Yuki³

¹ 海洋研究開発機構, ² 気象研究所, ³ 気象庁
¹JAMSTEC, ²MRI, ³JMA

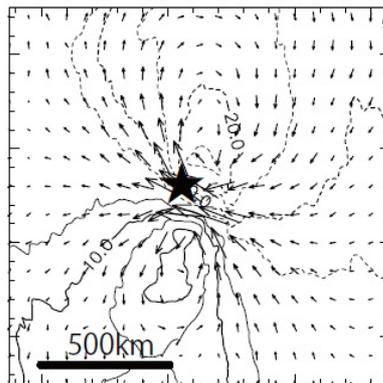
Analysis increment is dependent on the prescribed background error covariance \mathbf{B} in addition to innovation and model dynamics that describes the development of perturbations. Traditionally, \mathbf{B} is assumed to be static in time according to so-called NMC method. Following this method, the differences between pairs of forecasts valid at the same time, but having different lead times, are taken to represent the background error. While \mathbf{B} in NMC method approximates the climatological background error covariance, recent studies have shown that the forecast skill of 4DVar is further enhanced by making flow-dependent \mathbf{B} out of the perturbations in the ensemble-Kalman filter (EnKF) (Buehner et al. 2010). This system is referred to as Hybrid EnKF-4DVar. We have developed the meso Hybrid-4DVar system based on the meso 4DVar system (JNOVA) in the Japan Meteorological Agency since the improvements is thought to be more pronounced for severe impact weather such as tropical cyclones and heavy rainfall. In this presentation, we present a preliminary result for a forecast of tropical cyclone Talas (2011). Figure 1 shows the analysis increment of horizontal wind in the conventional 4DVar and hybrid EnKF-4DVar. The first guess of the zonal wind is overplotted. It shows a pseudo observation of wind field near the center of the tropical cyclone yields the analysis increment of a pair of cyclonic and anti-cyclonic circulations. It corresponds to a vortex displacement in the hybrid EnKF-4DVar system. In contrast, the analysis increment does not fit the structure of the tropical cyclone when using \mathbf{B} based on the NMC method. It suggests that the hybrid EnKF-4DVar system reproduces the reasonable analysis increment with a little information.

キーワード: データ同化, 台風, 4次元変分法, アンサンブルカルマンフィルタ
Keywords: data assimilation, tropical cyclone, 4DVar, ensemble Kalman filter

(a) conventional 4DVar



(b) Hybrid EnKF-4DVar



雲解像モデルへの2スケール Neighboring Ensemble 変分同化法 Dual-Scale Neighboring Ensemble Variational Assimilation for a Cloud-Resolving Model

青梨 和正^{1*}
AONASHI, Kazumasa^{1*}

¹ 気象庁気象研究所

¹ Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

1. はじめに

本研究の目的は、サンプリング誤差抑制法を含む Ensemble 変分同化法スキム (EnVA) を雲解像モデル (CRM、具体的には JMANHM を想定) 用に開発することである。これは CRM の Ensemble を使った同化法では、特に降水物理量に対して、サンプリング誤差が深刻な問題となるためである。

2. 2スケール Neighboring Ensemble 変分同化法

我々は、様々な降水事例の Ensemble 予報誤差解析に基づき、Neighboring Ensemble (NE) 法と、NE の2スケール分離から成るサンプリング誤差抑制法を開発した。NE 法は、Spectral Localization (SL) の仮定に基づき、粗格子内 (本研究では、5x5 grids) の NE を用いて予報誤差を近似する。NE の2スケール分離は、水平方向の予報誤差相関パターンの降水物理量とそれ以外の物理量の違いを反映させるため、NE 予報誤差を大規模場 (本研究では、13 x 13 grids の平均) とそこからの偏差へ分離する (降水物理量は偏差成分のみを持つと仮定した)。

上記サンプリング誤差抑制法を、3次元の EnVA (解析変数は、風速 (U,V,W)、温位、RHW2、降水強度、地上気圧) に導入するために、我々は、EnVA 解析インクリメントが、2スケール NE 予報誤差空間に属すると仮定した。我々は、鉛直方向の縮小近似を導入し、この予報誤差空間を2スケール NE 予報誤差の鉛直方向の相互相関の Singular Value Decomposition (SVD) 主要モードで表わした。(本研究では、この SVD は、大規模場については、大規模場の水平スケール (~600 km) の領域平均の鉛直相互相関から計算した。偏差成分に対しては、各粗格子の grid box 毎の鉛直相互相関から計算した。) 各点の SVD 主要モードは互いに独立なので、コストファンクションは、各モードの解析インクリメントの水平成分についての式に帰着する。次に、我々は、NE 予報誤差の水平方向の相関を使って、コストファンクションの第1推定項を水平方向に対角化した。我々は、上記のコストファンクションを共役勾配法によって最小値化し、Ensemble 平均の解析インクリメントの最適値を求めた。そして、各粗格子点での Ensemble 解析誤差共分散から Ensemble の各メンバーの解析値を計算した。RHW2、降水強度から、水物質 (雲水、雲氷、雨、雪、あられ) への変換には最小2乗法を使った。

3. OSSE の結果

本研究の EnVA のチェックのため、我々は、いくつかの降水事例について OSSE を行なった。地上降水強度のシミュレーションデータを同化した結果は、NE 法が、降水有りの Ensemble member の割合が 20% 以下の格子点でも尤もらしい降水物理量の解析値を作るのに成功していることを示す。また、ゾンデ観測のシミュレーションデータを同化した結果、NE の2スケール分離によって、非等方で降水強度に応じて空間スケールの変わる解析インクリメントが作られていることを示す。また、EnVA は、様々な水物質などの非線形関数である MWI TB の多チャンネルシミュレーションデータから、降水フラッグや降水プロファイルの情報をリトリブするのに成功している。

キーワード: アンサンブルを用いた変分同化法, 周囲のアンサンブル, 2スケール分離, GPM, GCOM, マイクロ波放射計
Keywords: Ensemble-based variational data assimilation, Neighboring ensemble, Dual-scale separation, GPM, GCOM, microwave imager