

日本気象学会誌 気象集誌
(Journal of the Meteorological Society of Japan)

第92巻 第6号 2014年12月 目次と要旨

論文

- 福井 真・岩崎俊樹・余 偉明：夏季東北地方における地上日平均気温を対象とした
中期予報を目指したアンサンブルダウンスケール予報実験505-517
- 堀之内 武：夏季の東アジア・北西太平洋上の降水と水輸送の総観的な変動に対する
上部対流圏の影響519-541
- 野口峻佑・向川 均・廣岡俊彦・田口正和・余田成男：現業1ヶ月アンサンブル
予報システムにおける冬季成層圏周極渦の予測可能性の月々変動543-558

AICS 国際データ同化ワークショップ特集号

序文 i

論文

- Chih-Chien CHANG・Shu-Chih YANG・Christian KEPPELNE：台風進路予測改善
のための平均リセンタリング法の利用：台風 Nanmadol (2011) のケーススタディ ...559-584
- África PERIÁÑEZ・Hendrik REICH・Roland POTTHAST：アンサンブルカルマン
フィルタシステムの最適な局所化585-597
- 露木 義：最も確からしい状態の決定論予測可能性と変分法データ同化の再定式化599-622
- 國井 勝：気象庁非静力学モデルを用いた京コンピュータにおける1000メンバーアンサンブル
カルマンフィルタの実行623-633
- 学会誌「天気」の論文・解説リスト (2014年9月号・10月号)635
- 英文レター誌 SOLA の論文リスト (2014年131-175)636
- 気象集誌次号掲載予定論文リスト637
- 第92巻 (2014) 総目次643-646
- 索引：A. 著者別索引647-656
- 索引：B. 主題別索引657-658

.....◇.....◇.....◇.....

福井 真・岩崎俊樹・余 偉明：夏季東北地方における地上日平均気温を対象とした中期予報を目指したアンサンブルダウンスケール予報実験

Shin FUKUI, Toshiki IWASAKI, and Weiming SHA: An Ensemble Downscaling Prediction Experiment for Medium-Range Forecasts of the Daily Mean Surface Temperature Distribution over Northeastern Japan during Summer

日平均気温の詳細な空間分布を対象とした中期予報の可能性を探るため、水平解像度25 km及び5 kmの気象庁非静力学モデルを用いたアンサンブルダウンスケール予報実験を行った。本研究では、東北日本に冷夏をもたらすヤマセと呼ばれる北東風が卓越する際の気温分布を念頭に置いて解析を行った。予報の検証は、対象領域内の Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS) により観測された日平均気温を用いて行った。

アンサンブルダウンスケール平均予報により、局地循環の情報を含みながら、より信頼性の高いシグナルを抽出することができる。アンサンブル平均を取ることによって、日平均気温の平方根平均二乗誤差を単独ダウンスケール予報に対し、15%減らすことができた。また、アンサンブルスプレッドは、大規模場の運動だけ

でなく局地循環の効果も考慮した確率予報の可能性を示唆した。アンサンブルダウンスケールにより、気象庁全球スペクトルモデル（解像度 TL159L60）による予報に対して、アンサンブルスプレッドは80%大きくなり理論値に近づいた。

さらに、empirical orthogonal function (EOF) 解析を行い、予測可能性が EOF モードに大きく依存することが明らかになった。予測可能な期間は、東北一様モードが8日、ヤマセモード（東西モード）が5日、南北モードが2日である。そして、EOF モードの振幅は、ダウンスケールすることで適切に予報されることが示された。特にヤマセモードに着目すると、全球モデルでは20%しか振幅を表現できていなかったが、ダウンスケールすることにより、90%まで表現することができるようになった。

堀之内 武：夏季の東アジア・北西太平洋上の降水と水輸送の総観的な変動に対する上部対流圏の影響

Takeshi HORINOUCI: Influence of Upper Tropospheric Disturbances on the Synoptic Variability of Precipitation and Moisture Transport over Summertime East Asia and the Northwestern Pacific

本研究は夏季の中国東岸域から北西太平洋にかけての降水と水蒸気輸送の総観的な変動についての全般的な理解をもたらすものである。衛星降水と客観解析データを用いて、7-8月の上部対流圏の擾乱（ロスビー波）、降水量、下部対流圏の比湿の間に明瞭な関係があることを見出した。上部対流圏の擾乱は350 K等温位面上の1.5 PVUの渦位の変動で表される。ケーススタディより、40°N付近で曲がりくねる1.5 PVUコンターの赤道側・低渦位側に沿って、幅数百km、長さ千〜数千kmの降水帯が頻繁に形成されることが示された。そこでは下部対流圏の比湿も増大し、同コンターを境に北側では急落する。これに関わる総観的な状況には、いわゆるトラフの前面での降水強化が含まれるが、それに限らない。以上の結果は

2001年より12年分のコンポジット解析により確認された。

境界の寄与を含む準地衡のポテンシャルエンストロフィーを用いた新しい診断手法により、上述の領域の上部対流圏の擾乱はアジアジェットに沿って西から伝播し、地表近くに強い強制をもたらすが、地表付近から上部対流圏の擾乱への上向き強制は弱いことが示された。Qベクトル解析により、降水帯での上昇流は主に合流場により強制されることが示された。この過程は前線形成的であり、しばしば地表付近に前線が現れる。また、上昇流は潜熱により強化される。水蒸気に富む気団の緯度分布の変動は、この循環とともに、上層の変動に誘起される下層の流れによっても左右される。

野口峻佑・向川 均・廣岡俊彦・田口正和・余田成男：現業1ヶ月アンサンブル予報システムにおける冬季成層圏周極渦の予測可能性の月々変動

Shunsuke NOGUCHI, Hitoshi MUKOUGAWA, Toshihiko HIROOKA, Masakazu TAGUCHI, and Shigeo YODEN: Month-to-Month Predictability Variations of the Winter-Time Stratospheric Polar Vortex in an Operational One-Month Ensemble Prediction System

北半球冬季における成層圏周極渦の予測可能性の月々変動を、気象庁により提供された7年間分の現業1ヶ月アンサンブル予報データセットを用いて、北極点温度の系統的誤差とアンサンブルスプレッドに基づき解析した。

各月毎の系統的誤差を、その月から開始された予報のアンサンブル平均誤差の集団平均として定義した。その結果、北極点温度の系統的誤差は、初冬の成層圏で有意な正の値、晩冬の上部成層圏で有意な負の値となる特徴的な季節内変動を示すことが明らかになった。また、Eliassen-Palm (E-P) フラックスを用いた診断を予報データに適用することにより、この初冬における正のバイアスは、成層圏での惑星規模波の赤道方向への伝播の有意な過小評価と関連することが明

らかになった。一方で、晩冬の負のバイアスは、E-Pフラックスの系統的誤差とは関連しない。このため、この負のバイアスは、予報モデルにおける物理過程のパラメタリゼーションスキームに起因すると示唆される。

一方、北極点温度の予測可能期間の上限を、アンサンブルスプレッドの月集団平均値に、Lorenzにより提出された初期誤差の時間発展を記述するロジスティック方程式を適用することにより推定した。このように推定された予測可能期間の上限は、成層圏では、初冬に最大35日に達した後、季節進行とともに徐々に減少し、晩冬には20日となることが明らかになった。この値は、対流圏のそれ(14日)よりも十分長い。

AICS 国際データ同化ワークショップ特集号

Chih-Chien CHANG・Shu-Chih YANG・Christian KEPPELNE：台風進路予測改善のための平均リセンタリング法の利用：台風 Nanmadol (2011) のケーススタディ

Chih-Chien CHANG, Shu-Chih YANG, and Christian KEPPELNE: Applications of the Mean Recentering Scheme to Improve Typhoon Track Prediction: A Case Study of Typhoon Nanmadol (2011)

強い非線形力学のもとでは、アンサンブルがガウス分布するという仮定が成り立たないので、アンサンブル平均値は大気の最適推定値とは限らない。台風進路予測を目的として、進路予測の不確実性が高いときに進路のアンサンブルが強い非ガウス性を示すという問題に対処するために、平均リセンタリング(MRC)法を提案する。2011年の台風 Nanmadol について、MRC法の性能を調べた。この台風ははじめ北に移動するが、8月24日0000UTCに急に西に向かう。Nanmadolの移動予測に寄与する要因として、台風 Nanmadol と Talas の間の気圧の鞍部、2つの台風の北にある亜熱帯高気圧の発達、Nanmadol自身の循環がある。

MRC法は、Weather Research and Forecasting (WRF) モデルに基づく領域アンサンブル予測システ

ムによる台風進路予測をうまく改善することが分かった。MRC法による修正によって、台風進路予測の精度が低い場合に、アンサンブルが現実の振舞いを捉えることができるようになるためである。このようにアンサンブルを調節すれば、アンサンブルに基づくデータ同化システムで使われる背景誤差共分散に正のフィードバックを与えることが可能である。MRC法を組み込んだWRFベースの局所アンサンブル変換カルマンフィルタ(WRF-LETKF)システムによる結果では、Nanmadolの移動の不確実性が高いWRF-LETKFのスピンアップ期において、アンサンブル進路予測が大きく改善された。MRC法による力学的な調節によって、元のアンサンブル予測にみられる非ガウス性とスプレッドの過大という問題が避けられる。

África PERIÁÑEZ・Hendrik REICH・Roland POTTHAST：アンサンブルカルマンフィルタシステムの最適な局所化

África PERIÁÑEZ, Hendrik REICH, and Roland POTTHAST: Optimal Localization for Ensemble Kalman Filter Systems

アンサンブルカルマンフィルタ法では、離れた観測の偽の相関を防ぎ、アンサンブル空間の有効な大きさを増やすために、局所化が適用される。局所化は大きな系で質の高い同化を行うための根幹的な手続きであるが、極端な局所化はバランスを壊し解析精度に負のインパクトを与える。

局所化されたアンサンブル手法の基本的な特徴を理解し、解析誤差を最小にする最適な局所化の方程式に

ついて調べたい。本研究で導き出す最適な局所化半径の理論的表現は、観測誤差、観測の密度、及び、アンサンブル空間で解析することによる近似誤差に依存する。数学的結果は、簡単な理想的モデルを使った2つの数値シミュレーションでテストする。これにより、異なる誤差や密度を持った観測が、異なる局所化距離スケールを必要とすることを示す。

露木 義：最も確からしい状態の決定論予測可能性と変分法データ同化の再定式化

Tadashi TSUYUKI: Deterministic Predictability of the Most Probable State and Reformulation of Variational Data Assimilation

決定論的非線形システムにおいて、時間発展方程式の相空間における発散が状態変数に依らなければ（発散条件）、状態変数の確率密度関数のモードを初期値とする決定論的予測は、予測時刻においても確率密度関数のモードとなる。発散条件を満たさないシステムに対して、決定論的予測が確率密度関数のモードの十分近くにあるための条件を、予測誤差が小さいという仮定の下で導く。いくつかのオイラー的な流体力学方程式系の有限次元近似について、相空間における発散を計算し、側面境界のある準地衡風方程式系と球面上の浅水方程式系が発散条件を満たすことを示す。

これらの結果に基づいて、4次元変分法（4DVar）の新たな定式化を提出する。同化ウィンドウの初めに与えるガウス近似された事前確率密度関数を、リウヴィル方程式に従って同化ウィンドウの終わりまで時間発展させる。時間発展させた事前確率密度関数から

構成した4DVarの評価関数は、発散条件が成り立てば、従来の4DVarの評価関数と等価であることがわかる。この結果から、4DVarでは、リウヴィル方程式に従って時間発展する非ガウスの事前確率密度関数が暗黙的に使われることがわかる。この4DVarの優位性を例示するために、簡単なモデルによるデータ同化実験を行う。同化ウィンドウの初めに与える背景誤差共分散にはアンサンブルカルマンフィルタ（EnKF）のものをを用い、評価関数が複数の極小値を持ち得ることによる困難を緩和するために、評価関数の収束値がある閾値を超えた場合には、4DVarの解析値をEnKFの解析値で置き換える。実験結果は、このような修正を行った4DVarの同化サイクルは、非線形性が強い場合でも弱い場合と同じく、解析精度においてEnKFによる同化サイクルより優れていることを示す。

國井 勝：気象庁非静力学モデルを用いた京コンピュータにおける1000メンバーアンサンブルカルマンフィルタの実行

Masaru KUNII: The 1000-Member Ensemble Kalman Filtering with the JMA Nonhydrostatic Mesoscale Model on the K Computer

アンサンブルカルマンフィルタ（EnKF）において、背景誤差共分散行列は有限のアンサンブルメン

バーで近似される。アンサンブルメンバー数が多くなればEnKFによる解析精度も向上するが、計算機資

源の制約のため、実際の気象モデルへの応用の際は少ないメンバー数で EnKF が実行される。これにより、誤差共分散にサンプリングノイズが混入し、解析精度の低下をもたらすことが知られている。研究では、日本のフラッグシップスーパーコンピュータである京コンピュータ上で EnKF を多数のアンサンブルメンバーで実行し、パフォーマンスの調査、およびサンプリングエラーが誤差共分散に与える影響について評価を行った。

京コンピュータ上での EnKF の実行効率は、特別

なチューニングを行わないにも関わらず14.7%に達した。これは、EnKF の並列計算への適用性を示すものであった。また、多数のアンサンブルメンバーを用いた場合の誤差共分散は、局所化を行わなくとも離れた地点でのサンプリングノイズは抑えられていた。今回の実験では、500ほどのメンバーで誤差共分散が精度よく近似されることがわかった。また、将来のスーパーコンピュータにおいては、IO 性能が重要になってくることが示唆された。