

幾田 泰醇

気象庁予報部数値予報課/気象研究所予報研究部
ikuta@met.kishou.go.jp

1 はじめに

現業数値予報モデルの初期値は、様々な観測データを同化することによって作成されている。最近、フェイズドアレイレーダーや静止気象衛星ひまわり 8 号など空間的に高密度であり時間方向にも高頻度な観測データの利活用に関する研究が注目されている。そのような観測データの情報を十分に活かし、モデルの初期値の精度向上へと繋げるためにはデータ同化システムの分解能向上が重要となるが、それにもまして、観測データを同化する時間分解能を向上させる必要がある。しかし、高密度かつ高頻度な観測データの利用には、膨大なデータの処理コストや観測誤差の推定等の解決すべき課題が多くあり簡単では無い。更に、データ同化システムにおける観測データの処理部分を高頻度・高分解能観測に適したものに刷新する必要がある。また、高頻度に観測データを同化したとしても、統計的に求めた背景誤差共分散を用いている従来の 4 次元変分法 (4DVAR) では、その効果を活かしきれない可能性も考えられる。今回は、まず高頻度観測同化の予備調査として、高頻度解析を効率的に行える仕組みを備え、背景状態の流れ依存性を考慮したデータ同化システムを構築し、高時間分解能をもつ観測を同化する効果を確認した。

2 asuca データ同化システム

気象庁では、非静力学モデル asuca[1] を基にした変分法データ同化システム (asuca-Var[2]) の開発を進めている。asuca-Var は、その設計理念から予報モデル asuca と統合的な開発を進めており、3 次元変分法 (3DVAR)、4DVAR やアンサンブルを用いたハイブリッドデータ同化を統合したシステムである。この asuca-Var は、2015 年 1 月に気象庁の現業局地モデル (LFM) に asuca が導入されると同時に、LFM の初期値を作成する局地解析へ導入された。局地解析は、3DVAR と一時間予報を組み合わせた解析サイクルで構成されたデータ同化システムである。局地解析への asuca-Var の導入により、地上物理量予測の精度向上や、降水予測の立ち上がりの遅れの解消など予測精度の改善が得られている [3]。

将来的には、メソモデル (MSM) の初期値作成手法として、asuca を基にしたアンサンブル予報と 4DVAR のハイブリッドデータ同化手法を現業メソ数値予報システムへ導入することを計画している。また、asuca-Var は、時間積分中に観測シミュレーションを行う仕組みを採っており、時間積分間隔の分解能で観測データを効率的に同化する事ができる。

3 高頻度観測同化のメリット

現在の現業メソ数値予報システムでは、解析時刻を正時にとり、その 3 時間前から解析時刻までをデータ同化期間としている。そして状態推定点は、データ同化期間の最初で定義している。観測データは、このデータ同化期間内の毎正時に正時の観測として同化されている。つまり、位置を時々刻々と変化させながら非正時に観測している航空機や極軌道衛星等のデータは、実際の観測時刻と異なる時刻に同化されていることになる。これは、現状のデータ同化システムが予報モデルとは別システムで開発されたため、観測の品質管理等に必要なモデル予測値を一旦ファイルに出力する必要があるからである。

実際に観測が行われた時刻で同化すると、随伴モデルにより勾配が伝播する時空間距離を正しく求める事になり、状態推定点に到達した勾配の誤差が縮小することを意味する。しかし、4DVAR の場合、勾配が正しい軌跡を辿ったとしても、状態推定点における解析インクリメントは、背景状態の流れに依存しない統計的な背景誤差共分散に基づいて計算される。そして、実用上、データ同化期間として設定できる時間の長さは限られているため、解析インクリメントへの流れ依存性の反映は、限定的なものになる。それに対して、ハイブリッドデータ同化のように、アンサンブル予報から求めた流れに依存する背景誤差共分散を併用する手法ならば、正しく時間を遡ってきた勾配の情報をより有効に活用できる。そして、その結果、より真値に近い解析値を求めることができると考えられる。

4 高頻度観測利用に向けた予備調査

前述のとおり現業の同化システムで利用している観測データは、観測時刻が非正時であっても正時の観測データとして同化している。asuca-Var では、そのような非正時観測の同化を効率的に行うことができる。そこで、asuca-Var を用いて、現業的に同化している観測の一部を正しい観測時刻で同化した場合のインパクトの調査を行った。インパクトの特徴を把握するうえで、高頻度に観測しているが空間的に間引かれ、近接する観測時刻同士の誤差相関が無視できる観測が便利である。予備調査では、そのような観測の一つである航空機観測に着目した。同化した観測は、大気追跡風 (AMV) の風、全球航法衛星システム (GNSS) の可降水量、ゾンデ (SONDE) の気温・風・相対湿度、航空機 (AVI) の気温・風、ウィンドプロファイラ (WPR) の風、ドップラーレーダー (DOP) のドップラー速度、レーダー反射強度 (REF) から推定

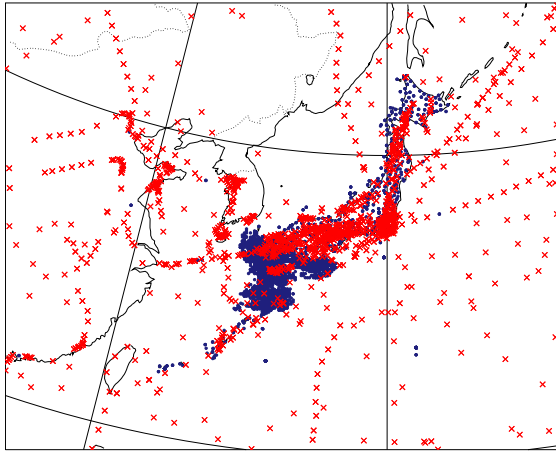


図 1: 青丸印は全観測の中で正時に観測されたデータの位置を表し、赤バツ印は全観測中で正時以外に観測されたデータの位置を表す。

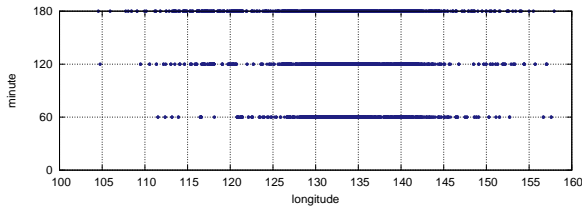


図 2: 正時に同化する場合の、観測の同化時刻と位置。

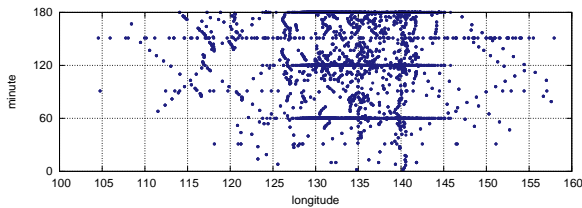


図 3: 観測時刻に同化する場合の、観測の同化時刻と位置。

した相対湿度である。なお、MSM の初期値作成には、その他、衛星輝度温度や地上・海上観測等を利用しているが、ここでは、簡単のため利用していない。さらに、後方伝播した勾配の影響を明確にするためデータ同化期間最初の観測も除外している。以下では、CNTL は観測を正時に同化した実験を表すものとし、TEST は観測を観測時刻で同化した実験を表すものとする。

図 1 は、同化に用いた観測分布を示したものである。正時に同化された観測は、主に陸上に分布している。海上に分布している観測は AMV と AVI が多く、そのほとんどが非正時観測である。図 2 と図 3 は、それぞれ CNTL と TEST で同化利用した観測の経度方向と時間方向の散布図である。多くの正時以外の観測データが、各観測時刻で同化されている事がわかる。

実験で用いた 4DVAR の接線形・随伴モデルは、水蒸気移流を含む力学過程のみであり物理過程を含まない簡略版である。ハイブリッドデータ同化システム (HYB4D) で利用したアンサンブル摂動は、LETKF で作成し、そのメンバー数は 20 である。データ同化期間は現業メソ

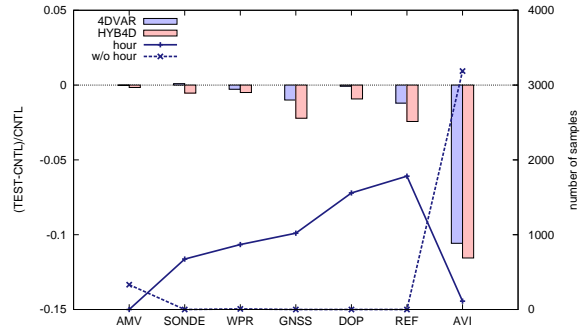


図 4: 棒グラフは、観測毎の誤差ノルムの変化率 (TEST-CNTL)/CNTL を表す。また、折れ実線は正時の観測データ数を表し、折れ破線は正時以外の観測データ数を表す。

解析と同じく 3 時間とした。また、統計的背景誤差共分散への重みとアンサンブルから求めた背景誤差共分散への重みは、両者とも 0.5 に設定した。4DVAR と HYB4D のそれぞれで TEST 実験と CNTL 実験を行い、TEST と CNTL を比較した。図 4 の棒グラフは、観測種別毎の観測と解析値の間の誤差ノルムの変化率を示しており、折れ線グラフは、正時の観測数と非正時の観測数を示している。誤差ノルムの変化率は、同化手法や観測の同化時刻を変えた影響を調査するものであり、独立変数による検証ではないため解析値の正しさを示すものではない。

図 4 から非正時データが最も多い観測は AVI であることがわかる。4DVAR と HYB4D の両者で、この AVI の誤差の縮小率が最も大きく、非正時同化の効果が大きいことが分かる。加えて、HYB4D では、4DVAR と比較して、非正時観測だけでなく正時観測の誤差ノルムも縮小しており、動的に与えた背景誤差共分散の影響によって、より一層、観測と解析値との整合性が改善していることが分かる。

5 講演に向けて

現在、高頻度観測を同化利用するための予備調査を進めている。非正時の観測を正時の観測として同化する単純化は観測のもつ情報の損失をもたらす、特に、時間方向の分解能の高い観測では、その度合いが大きくなる傾向があった。また、HYB4D では、高頻度観測の情報の損失の影響が他の観測のインパクトに波及する傾向も見られる。講演では開発の現状と併せて、空間的にも高密度なレーダー観測等の同化利用を目的とした調査結果を紹介したい。

参考文献

- [1] 気象庁予報部, 2014: 次世代非静力学モデル asuca. 数値予報課報告・別冊第 60 号, 気象庁予報部, 151pp.
- [2] 幾田泰醇, 2014: asuca 変分法データ同化システム. 数値予報課報告・別冊第 60 号, 気象庁予報部, 91-97.
- [3] 幾田泰醇, 2015: 局地解析の更新と改良. 平成 27 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 2-8.