変分法によるドップラー速度等の スケール依存同化の検討

気象研究所 藤田匡

瀬古弘、川畑拓矢、岡本幸三

本研究では気象庁数値予報課が開発したメソ数値予報システムの数値解析予報実験システムを用いた。 本研究の一部は、文部科学省「富岳」成果創出加速プログラム「防災・減災に資する新時代の大アンサンブル 気象・大気環境予測」(JPMXP1020200305、課題番号:hp200128,hp210166)、JST AIP JPMJCR19U2、 JSPS KAKENHI Grant Number JP19K23467、JP21K03667の支援を受けたものである。 はじめに:高頻度高密度観測の利用の高度化

・高頻度高密度観測 → 大気の詳細な情報を含む膨大な量のデータ
 ・時間空間スケールの小さい顕著現象などの予測精度向上に重要。

・高頻度高密度観測データの同化における課題

・時間空間的に密な観測では、観測誤差の相関が強くなる。

→ 観測誤差相関の考慮

・詳細な情報とともに、時間空間的に広がりを持つ大域的な情報も含む。
 → 多様なスケールの考慮

 本研究の課題:時間空間的に広がりを持つ高密度高頻度の観測データの情報を 有効に活かした観測データの同化手法を検討する。

対象観測データ:

高頻度高密度データとしてドップラーレーダー動径風(札幌、福岡、沖縄) 広域データとして衛星大気追跡風

•データ同化手法:

4D-Var(2020.3までの気象庁現業メソ解析準拠)

+ 観測誤差時間空間相関 + 流れ依存背景誤差

+ ウェーブレットアンサンブル制御変数

(ウェーブレットの利用(制御変数・局所化など)先行研究: Deckmyn and Berre 2005, Fournier et al. 2008, Fournier and Auligne 2010, Buehner 2012, Bonavita et al. 2014, Buehner and Shlyaeva 2015, Lorenc 2017, Caron et al. 2018, 2019)₂

ハイブリッド 4D-Var背景誤差の構成: EDA

- JNoVA 4D-Var (Honda et al. 2005。2020.3まで現業メソ解析の同化システム)を 拡張
- 制御変数拡張(Buehner 2005)により流れに依存するBを組み込み
- 流れへの依存性
 - EDA (Isaksen et al. 2010, etc.)で生成
 - 6つの4D-Var解析サイクル
 - 現業メソ解析で利用する観測を観測誤差に基づく摂動を付加して同化
 - 6メンバーEDA×直近9初期値 → 54摂動を生成
- アンサンブルB 80 %, 気候学的 B 20 %



ウェーブレットアンサンブル制御変数による多重スケールの同化

各スケールでのアンサンブル背景誤差共分散 ・水平局所化も1.25倍ずつ変化 (鉛直は10層固定) ・スケール間相関考慮 (局所化の幅10スケール)



摂動のウェーブレット成分 (スケール、場所ごとのウェーブ レット変換係数) 1.25倍ずつの22スケール

観測データから様々 なスケールの情報を抽出 して解析値に反映



背景誤差相関構造

・サンプリングエラーの卓越する距離

のスケール依存性を考慮

札幌、福岡、沖縄レーダー付近での同化の振る舞いを調べる。





-1.0

1.0 6









1点観測同化実験

や、札幌付近ピーク)は上2つと一致。

福岡(33.43N 130.36E) 600hPa 同化ウィンドウ最初にUのD値 4m/s



度を伴う循環)は上2つと一致。

1点観測同化実験

1点観測同化実験

沖縄(26.15N 127.76E) 600hPa 同化ウィンドウ最初にUのD値 4m/s



西側への広がり、南側の負域)は上2つと一致。

レーダー1サイトのドップラー速度同化実験

- 観測誤差時間空間相関を組み込んだハイブリッド4D-Var 1
- 札幌、福岡、沖縄レーダーで実験。
- 解析時刻 2018年7月3日06UTC (3h 同化ウィンドウ)
- 観測 5km x 5.625°セル平均、10分間隔
- 観測誤差
 - 相関: 指数関数型
 Desroziers (2005)の手法で、一般気象レーダー
 20サイトの、1週間の統計からおおよその値。
 動径、方位角、時間相関を考慮。
 - 標準偏差: ~3 m/s(現業の設定に基づく)
- 第一推定值

4D-Varサイクル(3h同化ウィンドウ、2018年7月1日 00UTC開始)で生成。

メソ解析で使用の観測を同化(従来型、衛星・地上リ モートセンシング)



札幌(43.14N 141.01E) レーダー1サイトのドップラー速度同化実験

U モデル面17層 ~600hPa 同化ウィンドウ最初のインクリメント





札幌に近い主要部分(ピークや前線に沿った流 れ)は上2つと一致。遠方で振幅小さい傾向。

気候学的背景誤差による単純な分布

レーダー1サイトのドップラー速度同化実験

U モデル面17層 ~600hPa 同化ウィンドウ最初のインクリメント

福岡(33.43N 130.36E)







沖縄に近い部分は上2つと一致する傾向。 遠方では振幅小。

気候学的背景誤差による単純な分布

効果を持つ可能性あり。

衛星大気追跡風の同化実験

- 観測値の間引き間隔(入力する情報のスケール)を変えて実験。
 広域の分布を持つ、ひまわり8号による大気追跡風で実験。
- 観測誤差時間空間相関を組み込んだハイブリッド4D-Var
 - 解析時刻 2018年7月3日06UTC (3h 同化ウィンドウ)
 - ・ 観測 約200km, 100km, 50km, 20km間引き 30分間隔 (現業では約200km間引き、1時間間隔)
 - 観測誤差
 - 相関:指数関数型
 Desroziers (2005)の手法で診断。
 1週間の統計。

水平、鉛直、時間相関を考慮。

標準偏差: ~ 2-6m/s
 概ね高度ともに増。現業の設定に基づく。



1000

水平距離(km)

1500

500

-0.2

0

大気追跡風の観測誤差水平相関

- ・ 背景誤差局所化 水平:58 x (1.15) ^J km、鉛直10層、スケール7
 - 第一推定值

4D-Varサイクル(3h同化ウィンドウ、2018年7月1日00UTC開始)で生成。 メソ解析で使用の観測を同化(従来型、衛星・地上リモートセンシング) 2000

衛星大気追跡風の同化実験 間引き間隔 ~200 km

U モデル面17層 ~600hPa 同化ウィンドウ最初のインクリメント



4DVar

・気候学的Bのため、単純な構造。 表現できるスケールが制限され、高 波数成分が少ない。

・観測の解像度が上がっても、概ね似 たスケールのパターンが増幅。

格子制御変数

大気の流れを反映。

・高波数成分も多い(ただし、ノイズ含む)。 ・アンサンブル摂動の各スケールの成分は一律に扱 うため、低解像度の観測でも、高波数まで応答。

ウェーブレット制御変数

大気の流れを反映。

 スケール依存の局所化により、格子制御変数と 比較して、高波数成分減。

 スケールごとの制御変数により、観測の解像度 に応じて、インクリメントの解像度が上がる。





500-700 hPa 観測分布



数100km以下の成分小。観測解像度による変動は波数~20まで。

衛星大気追跡風の同化実験 間引き間隔 ~100 km

U モデル面17層 ~600hPa 同化ウィンドウ最初のインクリメント



4DVar

・気候学的Bのため、単純な構造。 表現できるスケールが制限され、高 波数成分が少ない。

・観測の解像度が上がっても、概ね似 たスケールのパターンが増幅。

格子制御変数

大気の流れを反映。

・高波数成分も多い(ただし、ノイズ含む)。 ・アンサンブル摂動の各スケールの成分は一律に扱 うため、低解像度の観測でも、高波数まで応答。

ウェーブレット制御変数

大気の流れを反映。

 スケール依存の局所化により、格子制御変数と 比較して、高波数成分減。

 スケールごとの制御変数により、観測の解像度 に応じて、インクリメントの解像度が上がる。





130° 135°

140° 145° 45°

40°

35

30°

25

20

150

衛星大気追跡風の同化実験 間引き間隔 ~50 km

U モデル面17層 ~600hPa 同化ウィンドウ最初のインクリメント



4DVar

・気候学的Bのため、単純な構造。 表現できるスケールが制限され、高 波数成分が少ない。

・観測の解像度が上がっても、概ね似 たスケールのパターンが増幅。

格子制御変数

大気の流れを反映。

・高波数成分も多い(ただし、ノイズ含む)。 ・アンサンブル摂動の各スケールの成分は一律に扱 うため、低解像度の観測でも、高波数まで応答。

ウェーブレット制御変数

大気の流れを反映。

 スケール依存の局所化により、格子制御変数と 比較して、高波数成分減。

 スケールごとの制御変数により、観測の解像度 に応じて、インクリメントの解像度が上がる。





500-700 hPa 観測分布



数100km以下の成分小。観測解像度による変動は波数~20まで。

衛星大気追跡風の同化実験 間引き間隔 ~20 km

U モデル面17層 ~600hPa 同化ウィンドウ最初のインクリメント



4DVar

- ・気候学的Bのため、単純な構造。 表現できるスケールが制限され、高 波数成分が少ない。
- ・観測の解像度が上がっても、概ね似 たスケールのパターンが増幅。

格子制御変数

大気の流れを反映。

・高波数成分も多い(ただし、ノイズ含む)。 ・アンサンブル摂動の各スケールの成分は一律に扱 うため、低解像度の観測でも、高波数まで応答。

ウェーブレット制御変数

大気の流れを反映。

 スケール依存の局所化により、格子制御変数と 比較して、高波数成分減。

 スケールごとの制御変数により、観測の解像度 に応じて、インクリメントの解像度が上がる。









数100km以下の成分小。観測解像度による変動は波数~20まで。

衛星大気追跡風の同化実験 インクリメントの観測解像度依存性

薄い色 200km間引き → 濃い色 20km間引き



4DVar

- ・高波数成分が小さい。
- ・観測が高解像度になると、全体的な振幅が増大。

・観測が高解像度になると、より高波数側の増大が みられるものの、応答は~100kmより大きいスケー ルに限られる。

・低波数成分の増幅も大きい。

格子制御変数

高波数成分が大きい(ただし、ノイズ含む)
 観測が高解像度になると、高波数側の増大が
 比較的大きい。しかし、スケール依存性は小さく、全スケールが概ね一律に増幅。

ウェーブレット制御変数

スケール依存の局所化により格子制御変数と比較して高波数成分減。

・観測が高解像度になるに伴い、高波数側 の増大が大きい。観測情報のスケールに応 じた応答。







→ R相関を無視する影響は高頻度高密度観測でより大きい。 気候学的Bで表現できる解像度が制限される4D-Varで、インクリメントのゆがみがより大きい。

24

まとめ

- 高頻度高密度で広がりを持って分布する観測データから、様々なスケールの 情報を有効に活用するための、変分法データ同化技術の高度化を検討。
- 観測誤差時空間相関を組み込んだハイブリッド4D-Var(EDAによる流れ依存 背景誤差)で、ドップラー速度、衛星大気追跡風の同化を検討。
- ウェーブレット空間でアンサンブル制御変数を構成
 - ▶ 目的:背景誤差特性、局所化によるノイズ抑制を、スケールごとに与えて、 様々なスケールの情報を有効に抽出する。
 - ▶ 背景誤差相関の調査
 - 場の状況や、スケールに応じて、異なる相関特性がみられた。
 - ▶ 同化実験(一点観測、一サイトドップラー速度)
 - 近距離で観測の細かい分布を反映したインクリメント
 - 遠方で平滑化されたスケールの大きいインクリメント
 - ▶ ドップラー速度による予測の検証(最適な設定の検討は今後の課題)。
 - 従来のハイブリッド4D-Var(格子空間制御変数)と、概ね同程度。遠方 での摂動の改良今後の課題。
 - メンバー数増強(756)で改善が得られる事例(サンプリングエラー抑制 が有効)では、より少ないメンバー数(54)での予測悪化を緩和する傾 向もみられた。
 - ▶ 衛星大気追跡風の間引きを変えた実験
 - 観測データの解像度をインクリメントにより明瞭に反映する傾向。
 - ドップラー速度についても同様の傾向がみられた。