



# 第13回数値モデル研究会 台風防災における全球同化の 課題

令和3年1月12日  
数値予報課 木南哲平

# 全球同化の役割

## 1. 適切な全球モデル初期値の提供

- 台風予測精度はモデル初期値として適切であることの重要指標
- 1日4回の全球モデル実行時刻に前に確実に初期値を作成

## 2. 高精度な全球解析値の提供

- 現実の大気状態を全球モデルの解像度で精度よく表現

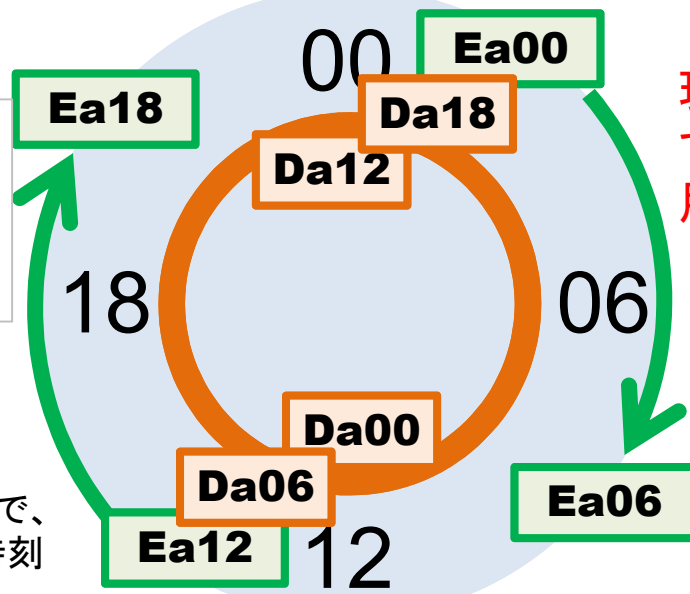
## • これらの両立を目指して開発を行っている

- 現業システムの優先度としては1. > 2.
- 特に2日目程度までの短期予報では初期値の精度が結果に大きく影響するため、**よりよい初期値提供を行うことで台風などに対する防災に寄与**

# 気象庁の現業全球同化システム

- 目的の異なる2系統の全球同化(全球解析)があり、それぞれ1日4回実行している(解析対象時刻は00, 06, 12, 18UTC)
  - **速報解析**: 全球モデル初期値作成を目的とする非サイクル解析。全球モデル実行スケジュールに合わせるために対象時刻+2時間20分以内に入手できた観測データのみを利用している
  - **遅延解析**: 解析値としての精度維持を目的とするサイクル解析。出来るだけ多くの観測データを利用したいが、1日2回速報解析へ接続するため、観測データ待ち時間は最長となる00,12UTC対象の遅延解析でも11時間50分で打ち切りとなる

データ取得打ち切り時間  
Da00/12: 11<sup>h</sup>50<sup>m</sup>  
Da06/18: 07<sup>h</sup>50<sup>m</sup>  
Ea: 2<sup>h</sup>20<sup>m</sup>



現業システムとしての制限がある中で可能な限り多くの観測データを利用する工夫をしている

なお、実行モジュールのソースコードは速報・遅延解析で共通で、同化窓の設定もどちらも解析時刻の前後3時間で共通

# 気象庁の現業全球同化システム

- 同化手法はハイブリッド4次元変分法 (4D-Var)
  - ハイブリッド: 気候学的背景誤差 $B_{cli}$ とアンサンブル背景誤差 $B_{en}$ を混ぜて使用し、ある程度背景場の流れに沿ったデータ同化を行う
    - 現在の重みは $B_{cli}$ が0.85、 $B_{en}$ が0.15
- 2系統の全球モデルを使用
  - アウターモデル (第一推定値を作成するための高解像度モデル)
    - 最新の全球モデル (GSM) と同一で水平解像度は約20km、モデル上端は0.01hPa
  - インナーモデル (評価関数で用いる低解像度モデル)
    - アウターモデルとは物理過程などが異なる非線形モデル (NL)、接線形 (摂動予報) モデル (TL/PF) とその随伴モデル (AD) で水平解像度はいずれも約55km、鉛直層配置はアウターと同一
  - アウターモデルは2回実行 (アウターループ)、インナーTL・ADは評価関数の最小値探索において最大35回実行
- $B_{en}$  作成のためにアンサンブル予報を実行
  - モデルは低解像度GSM
  - 初期摂動はLETKFで作成。アンサンブルメンバー数は50

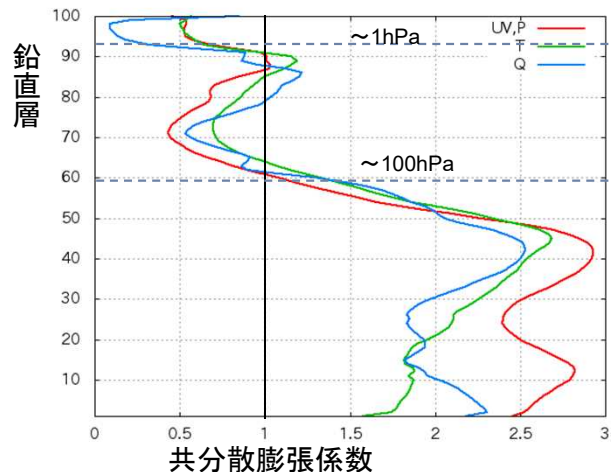
# 主要センターの 現業全球同化システム

センター名	同化手法	流れ依存背景誤差の推定手法
ECMWF	Hybrid 4D-Var	EDA (50メンバー)
Met Office	Hybrid 4D-Var	EDA (44メンバー)
DWD	Hybrid 3D-Var	EnKF (40メンバー)
NCEP	Hybrid 4D-EnVar	EnKF (80メンバー)
JMA	Hybrid 4D-Var	EnKF (50メンバー)

- 同化手法としては変分法を採用し、そこにアンサンブル手法から見積もった流れ依存する誤差情報を与えるハイブリッド手法が世界的にも主流となっている
- アンサンブル手法の大きな区分としてはEDAとEnKFに二分されている
  - EDAでは変分法によるアンサンブルを行っている

# 背景誤差に関する課題

- $B_{cli}$ の適切な見積もり
  - $B_{cli}$ は1年分の統計値を用いたNMC法により見積もっている
  - しかし、現在の $B_{cli}$ と $B_{en}$ の生の見積もり値に乖離が激しい
    - $B_{cli}$ の大きさに合わせるための $B_{en}$ の共分散膨張係数は0.5~3程度の値となっている(係数は解析ごとに要素別・鉛直層別に動的に見積もり)
  - 果たして現在の $B_{cli}$ は $B_{en}$ に補うべき気候学的誤差特性を適切に表現できているといえるのか？
    - $B_{en}$ に混ぜるべきものは $B_{en}$ そのものの統計値の方が適切なのか？
      - この場合には観測誤差を含めた再調整が必要



2020/12/23 00UTCサイクル解析の4DVarで使用された共分散膨張係数(アウターループ1回目)。圏界面付近を除いて1から大きく外れている

# 背景誤差に関する課題

- 背景誤差の重みの適切な見積もり
  - 現在の $B_{en}$ の重みは15%しかない。これはハイブリッド法を採用している他の主要センターと比較しても低い
    - 初のハイブリッド法導入にあたり慎重策で臨んだ
  - 今後、 $B_{en}$ の比率引き上げを計画しているが、何を基準にして適切な重みを決めるべきかわからないという根本的な問題を抱えている
  - 我々が $B_{en}$ に期待するのは気候値から大きく外れるような激しい現象周辺での流れに応じた誤差構造の実現であるが、一方で台風のような非線形性が大きな現象周辺での $B_{en}$ の構造は信頼できるのか
  - 重みに場に応じた層別化の仕組みを取り入れるべきか？その場合は何を基準としてどう行うべきなのか？

これらについて知見に基づくご助言をいただけるとありがたい



# モデルに関する課題

- モデルの解像度依存性の評価
  - 非線形モデルの解像度依存性は全球アンサンブル予報(GEPS)から評価されてきた側面がある。GEPSが更なる高解像度を目指す一方で全球同化のインナーモデルの高解像度化は滞っており、乖離が進めば低解像度モデルの評価が十分でなくなる恐れがある
- インナーモデルの湿潤過程
  - 全球4DVarのインナーモデルは十数年前の古いGSMをベースとした簡易な湿潤過程を使い続けている。全球モデル本体との乖離は大きく、解析精度向上や様々な開発の足かせとなっている
    - 1例として、全天輝度温度同化開発ではアウターモデルとインナーモデルが表現する雲量に大きな差があることが問題となった
- インナーモデルの更新
  - 湿潤以外の物理過程も全球モデル本体の更新に追いついていない。決定的に人手が足りないのが現状

投入できる人的資源に限られる中で全球同化システムを維持するにはどうすればよいか？  
(インナーモデル開発体制の確立/インナーモデルを必要としない手法への転向)



# アンサンブルシステムに関する課題

- LETKFの維持・高度化

- 4D-VarとLETKFという独立した同化システムを同時に維持し続けて行く負担は大きい
  - 現状、4D-Var・LETKFともそれぞれ担当者1名のみで開発を続けており、貴重な人的資源が分割されてしまっている
- また、我々の現業LETKFは高密度・高頻度観測データの活用に課題を抱えている
- 将来に渡る開発体制の維持を考えると、変分法への一本化も検討せざるを得ない状況になりつつある
  - その場合の初期摂動作成方法はEDAが候補となる

LETKFが現業全球同化システムとして4D-Varの代替となり得るのはいつ頃だろうか？

# 開発の現状

- $B_{cli}$ の再見積もり
  - 最新開発版GSMを用いたNMC法による $B_{cli}$ を作成。最新の全球モデルの誤差特性を捉えるとともに、前回見積もり時よりもサンプル数を増やした(1年分→3年分)ことでサンプリング誤差の軽減を見込んでいる
- アンサンブルメンバー数の増強
  - 50メンバーから100メンバーに倍増。サンプリング誤差減少が確認できたことから $B_{en}$ の利用比率の引き上げ(15→50%)も計画
- 4DEnVarの調査
  - インナーモデルが不要となる
    - ただし、果たして現4D-Varと同等以上の性能を獲得可能なのかが最大の課題
  - LETKF代替の候補でもある

従来手法の下での高度化を進めつつ、代替候補となる手法についての調査も行っている

# まとめ

- 気象庁の現業全球同化は他の主要現業センターとも遜色のないシステムを採用している
- その一方で、今後の維持・高度化の方向について検討を行っているところである

## 現在のハイブリッド4D-Varの高度化について

- ハイブリッド法での気候学的背景誤差として適切なものは何か？
- 現在は経験的に決めている背景誤差の重みの理論的な推定方法はあるか？

## 持続可能な開発について

- モデルやシステムが複雑化してゆく中、将来にわたるインナーモデル及びLETKFの維持・高度化は可能なのか？
- 仮にこれらの利用を止めたとして、代替となりうる同化手法はあるのか？
  - 例えば4D-EnVar+EDAは現在の4D-Var+LETKFを超えられるのか？