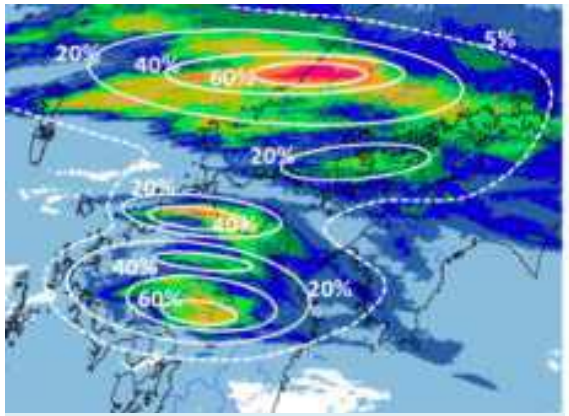
豪雨防災に向けたメソ同化の課題

メソ同化EPSチーム
秋元 銀河
令和3年1月12日

はじめに：線状降水帯と局地EPS



【大雨の発生可能性の予測情報（2030年イメージ）】半日程度前から線状降水帯の発生に伴う集中豪雨の可能性を確度高く把握し、これに伴う災害発生の危険度分布も提供

- 「2030年に向けた数値予報技術重点開発計画」（以下重点計画）において豪雨防災は重点目標のひとつである。いわゆる線状降水帯による豪雨は毎年のように日本各地に甚大な被害をもたらしており、予測精度の向上が急務となっている。
- 線状降水帯の発生・停滞などの予測精度向上には個々の積乱雲を表現する精緻で高解像度なモデル、線状降水帯が発生する環境場を捉えた初期場が不可欠である。
- しかし、重点計画で謳われた半日前からの発生予測を見据えると、その初期値鋭敏性により個々の対流活動は本質的に予測可能性が低く、EPSによる確率情報が防災情報の中核となる。
- EPSを見据えたデータ同化システムが求められる。

EPSを見据えたデータ同化

決定論の目標

- 重点計画において2030年決定論予測は水平格子間隔1km以下が目標となっている。

EPSも相当の解像度が必要

- 線状降水帯による豪雨は解像度を上げないと表現できない事例が多々ある。決定論予測の不確実性を表現するEPSもかなり高解像度化する必要がある。(具体的な解像度は未定)

ハイブリッド同化の導入

- 4D-Varや3D-Varは気候学的な背景誤差を用いており、平時の誤差構造を仮定している。顕著事例は平時とは異なる気象場であると推定されるため、流れ依存の背景誤差構造をアンサンブル同化手法も活用して評価したい。

シナリオ予測はもし可能であれば

- 局地EPSはあくまでも確率情報としての利用が前提であるが、シナリオ予測には需要があり、各メンバーはそれなりに尤もらしいものであることが望ましい。(EDA?)

システム開発の指針

線状降水帯特化は見通しが無い

- しかし、現状では半日先のリードタイムをもって「線状降水帯」が発生する環境場を捉えることに特化したデータ同化の設計に関してノウハウが蓄積されている訳ではない。（知見があれば大変にありがたい）。

基本は総合的な場の改善で勝負

- 豪雨防災は重点目標の中核であるが、領域モデルはユーザから多用途に用いられており、基本は特定事例に限らない総合的な環境場の改善によって間接的に豪雨の予測をよくする方向で進めている。

EPS・同化の一体設計

- EPSは莫大な計算機資源を消費するため、可能であれば同化のハイブリッド化で計算した摂動を活用したい。
  - 解析とEPSのゴールの違いは一体化に向けた懸案の一つ。解析はモデル誤差の適切な推定が求められるが、EPSはPDFの忠実な再現より顕著事例をその不確実性の範囲に捉えることがしばしば要求される。

領域同化における各センターの動向

WGNE List of Operational Global Numerical Weather Prediction Systems (as of 01 January 2020)
http://wgne.meteoinfo.ru/nwp-systems-wgne-table/wgne-table/ より

国・地域	機関	領域システム
Europe	ECMWF	-
UK	Met Office	**4D-Var;** 4.5km; 1h cycle
USA	NCEP	**Hybrid 3DEnVar**, 12-13 km / 3 km for nests
Germany	DWD	**LETKF** (M40); 2.2 km
France	Météo France	**3D-Var** 1.3 km, 1h cycle
Korea	KMA	**Hybrid 4D-Var** 1.5km
Canada	CMC	**Hybrid 4D-EnVar** 0.27° increments, Increment resolution is fixed by the grid spacing of the ensemble used to compute the covariance matrix.
China	CMA	**hybrid 3D-Var**, 3km
Japan	JMA	**4D-Var**, 15kmL38; 3h cycle(for coarse model) **3D-Var**, 5kmL48; three-hour analysis cycle repeats hourly assimilation (for fine model) Note that resolution of inner models are shown in this table

UK Met Office でも **hybrid 4D-Var** を検討しており、領域同化でも主要センターでハイブリッド同化が主流になりつつある。

領域モデルのハイブリッド同化に向けて

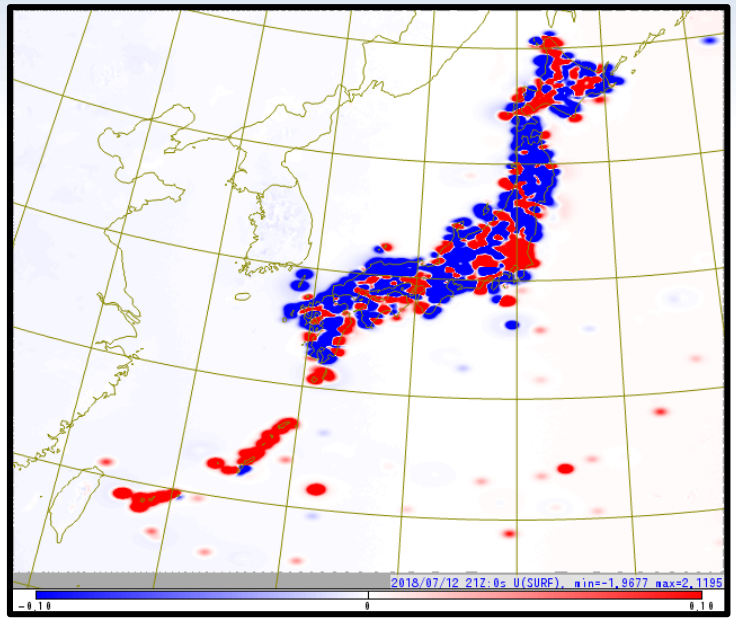
- 世界の主要センターの動向において、ハイブリッドデータ同化は領域システムでも導入が進んでおり、気象庁の領域データ同化でも初期場の改善が期待できる。
- ハイブリッド同化は様々な手法が提案されており、それぞれのメリットデメリットを試験した上で最終的に最も良いものを導入したいが、現状では手が足りていない。(EDA?, LETKF?, PF?)
- 気象庁内部では、まずは気象研と協力してデータ同化アンサンブル(EDA)ベースのものを検討している。(4D-Var数十個分の資源を想定)
- ただ、領域同化において最終的にどのようなハイブリッド同化手法を導入するかは現時点で様々な可能性が残っている。まずは知見ベースでの手法の提案、そしてasuca-Varを利用した同化手法研究があれば大変にありがたい。

課題例

気象庁非静力学モデルasucaを用いた、4D-Var数十個分程度の計算機資源で可能な、ハイブリッド同化システムの提案や実証

領域システムに関する個別課題

気候値背景誤差の水平相関に関する検討



局地解析のある時刻あるスロットの風速インクリメント

海上の場の補正は現実的？

- 局地解析（気象庁における最高解像度モデルであるLFMの解析）の背景誤差はアメダス等を同化するために地上付近で水平相関距離を大幅に短くしている。これにより地上付近で局地前線等のシャープな修正が可能になる。一方で、海上では孤立したインクリメントが並び、観測点近傍しか修正されない。
- 水平相関スケールが短いと精細な場の修正ができ予報開始3時間程度の精度はよくなるが、半日先を視野に入れた予測スコアではむしろ短くしない方がよいものも多い。
- 水平相関はガウス分布を仮定しているが、NMC法でみた水平相関の構造は見るからに非ガウス。誤差構造の相関スケールは修正したい対象によって様々であり、例えば複数の相関スケールによる同化の有用性は検討の余地があるが、未着手となっている。
- ただ、気候値Bを複雑化することの費用対効果が高いか躊躇を抱いている。（ハイブリッド同化を予定しているのでアンサンブルのBにまかせるべき？）

必要だという知見があれば

降水の位置ずれ補正に関する調査

- 豪雨の発生予測において降水系の「位置ずれ」が問題となることはしばしばあり、位置ずれを補正する需要は恒常的に存在する。線状降水帯は出ているものの違う場所に予測し続け、ガイダンスによる補正もされないし（位置ずれを許容するファジー検証等では持ち直す場合もあるが）統計スコアも良くない。
- これに対し、例えば位置ずれ量を制御変数として場を補正するようなデータ同化手法がある。
- 現在の領域データ同化で使っている 3D-Var Rapid Update Cycleや4D-Var、あるいは今後のハイブリッド同化等で愚直に場を修正してく方法とくらべて、この手の特化型の手法が有利かは定かではない。
- 手がついていないが、独立に取り組める課題であり、上手くいけば現業システムへの適用もある。

物理過程のTL/AD改良

- TL/ADモデルを不要とする同化手法の研究は多々あるが、まだまだ予測精度においてTL/ADに頼るところは多い。
- TLモデルは予報モデルから機械的に作成されるものではない。4D-Var向けの実装（簡略化、正則化、何に摂動を入れるか）には様々なオプションがあり、議論や検討できることは多い。個人PCで動くようなトイモデルでも研究できることが多々ある。
- TL/ADはすべての物理過程の摂動を入れている訳ではない※1。例えば、積雲対流過程に摂動を入れている現業センターはかなりあるが、気象庁の領域解析では摂動を入れていない※2。精度向上に不可欠となれば、例えば UK Met OfficeのUnified Modelで採用されている4D-Var用に開発されたマスフラックス型の対流スキーム(Olaf Stiller, 2009)の実装等を検討している。

これを試してみたらどうかという知見、実際の結果等があると大変に助かります

※1: 無論、システムの安定性や線型近似の妥当性を考える必要があるため、何でも摂動を入れる方がよい訳ではない
※2: 4D-Varをasuca-Varに置き換える際に、湿潤対流調節を使ったモデルが検討されたが、採用されなかった

豪雨災害を発生させる環境場の評価指標

- 同化に限った話ではないが、重点目標で掲げられた線状降水帯が発生する環境場を捉えた初期値を目指す上で、それを評価できる実効性のある指標を欲している。
- 人間が事例をみて評価する場合、自身の修正の影響を贔屓目に見るバイアス、印象的なチャンピオンケースをピックアップしてしまうバイアスを排除するのが困難。
- 統計検証では、線状降水帯そのものの共通的な定義が難しい上に、部内の典型的な性能評価期間（夏冬1か月程度）ではサンプル数がすくない。
  - ✓ 線状降水帯はサンプル数が少ないため、よりサンプリングエラーの小さな量（より頻度の高い現象で）線状降水帯の予測に寄与する評価量があれば尚よい（具体的なイメージは無いが・・・・・・）。
- 多くの豪雨事例では大雨をもたらす水蒸気が海上から侵入してくるが、海上の水蒸気や風の場を検証する仕組みがあまり確立されていない。

まとめ

- 領域数値予報システムにおいては豪雨災害における半日程度前からの防災行動に寄与する予測情報を提供することを重点目標として開発を行っている。
- 豪雨防災の要であるが様々な課題を抱えている。研究協力や知見の提供は非常にありがたい。
  - ハイブリッドデータ同化手法の検討
  - 物理過程のTL/ADの改良
  - 同化による位置ずれ補正
  - 水平相関に関する検討
  - 評価指標

今回、例示した以外にも様々な改善の切り口があるため、領域同化に興味のある方は是非お声をかけて頂ければと存じます