第9回気象庁数値モデル研究会・第45回メソ気象研究会・第2回観測システム・予測可能性研究連絡会 2016年5月17日 気象庁

メソアンサンブル予報を利用した 顕著現象の解析

気象研究所予報研究部第2研究室 国井 勝, 横田 祥

メソアンサンブル予報

メソスケール現象予測の不確実性の考慮

・初期値

- 親モデル(全球アンサンブル)の摂動
- ブリーディング法
- 特異ベクトル法
- アンサンブルカルマンフィルタ(EnKF)
- ·側面境界,下部境界
 - 親モデル(全球アンサンブル)の摂動
 - 気候学的な誤差共分散

・数値モデル

- 異なる物理過程
- 複数の数値モデル
- 確率的物理過程強制法(SPPT)



メソアンサンブル同化・予報を用いた顕著現象の解析

・手法

- NHMベースのEnKF (NHM-LETKF)
- 境界摂動として親モデルの摂動利用
- 数値モデルの誤差は考慮しない

・大雨事例への応用(国井)

- 平成27年9月関東·東北豪雨
- ひまわり8号の高頻度大気追跡風のアンサンブルデータ同化

・竜巻事例への応用(横田)

- 平成24年つくば竜巻
- 高密度観測データのアンサンブルデータ同化
- アンサンブルに基づく感度解析

平成27年9月関東·東北豪雨



2015年9月10日0時の地上天気図

平成27年9月9日~11日にかけて, 関東・東北地方で大雨.

- 台風18号から変わった温帯低気圧,台 風17号が影響(上図).
- 関東地方では,南北に伸びる帯状の降 水域を観測(下図).
- 土砂災害,浸水,河川の氾濫等の発生.



平成27年台風第18号と前線による大雨に関する栃木県・茨城県気象速報



2015年9月10日0時の解析雨量

数値シミュレーションの結果 (FT=21)

平成27年9月10日0時における,3時間積算雨量の分布.





•既存の観測データを利用したNHM-LETKFで作成した解析値からの予報 では、降水域が西側にずれる.

・ひまわり8号の観測データが入手可能.

ひまわり8号 - 平成27年7月正式運用開始-



ひまわり8号大気追跡風





解像度up 観測数up

(QI>60, 2015.01.14 17:00UTC)

ひまわり8号高頻度大気追跡風



追跡風データを利用する.



高頻度観測データを用いることでデータ数がさらに増加. (短時間で形状が変化する雲の動きを捕捉することが可能になるため.) 本研究ではこの高頻度観測データから算出される高頻度大気



Experiment	AMVs
CTRL	Operational AMVs from MTSAT-2
TEST	High-reso RS-AMVs from Himawari-8

NHM-LETKF specifications

Ensemble size	100	
Grid size	409 x 331 x 50 (Δx = 10 km)	
Covariance inflation	RTPS (Whitaker and Hamill 2012)	
Covariance localization	200 km, 0.2 ln p	
Analyzed variables	u, v, w, t, p, qv, qc, qr, qci, qs, qg	
Observation data	MA CDA4 (u, v, t, rh, ps, tpw) + AMVs from MTSAT-1R or Himawari-8	
Extended forecast	817 x 661 x 50 (Δx = 5 km), up to 48 hr	



Domain for the DA experiment

数値シミュレーションの結果 (FT=21)

平成27年9月10日0時における,3時間積算雨量の分布.



ひまわり8号高頻度大気追跡風を同化することにより、降水域の位置が実際の降水に近い位置で予想されるようになっている.

下層風と相当温位の分布

平成27年9月10日0時における、下層の発散、相当温位の分布.



上図の青い部分は降水帯に対応する収束を示す. 下図の赤い領域は相当温位の大きい領域で,気塊が暖かく湿っていることを示す.

アンサンブル降水予測

平成27年9月9日9時~10日9時における,24時間積算降水量の発生確率分布. 上段:100 mm / 24 h 以上,下段:300 mm / 24 h 以上



第9回気象庁数値モデル研究会・第45回メソ気象研究会・第2回観測システム・予測可能性研究連絡会 2016年5月17日 気象庁

メソアンサンブル予報を利用した 顕著現象の解析

― 竜巻事例への応用―

*1 横田 祥, 1 瀬古 弘, 1 國井 勝, 2山内 洋, 3新野 宏 1 気象研究所予報研究部, 2 気象庁観測部, 3 東京大学大気海洋研究所 はじめに 竜巻の発生過程3段階(スーパーセル竜巻の場合)

- 1. <u>中層(~4km)のメソサイクロンの発生</u>
 - ・現業レーダーでとらえられる
 - ・環境風の鉛直シアに伴う水平渦度を上昇流で立ち上げ て生ずる
 - ・鉛直シアが高さとともに時計回りに変化する場合、低気 圧性の渦度を持つメソサイクロンが選択的に発達
- 2. <u>下層(~1km)のメソサイクロンの発生</u>
 - ・近くを通過すると現業レーダーでとらえられることもある
 - 下降流の先端で傾圧的に作られる水平渦度が立ち上 げられて生ずる?
- 3. <u>地上で竜巻発生</u>
 - ・現業レーダーではとらえられない
 - ・下層のメソサイクロンによる吸い上げに伴って生じる地 上の収束により強化?
 - ・下降流が冷たすぎると発生しない?



(Klemp 1987, Markowski and Richardson 2009)



(Markowski et al. 2008)



⁽Markowski and Richardson 2014)

これらは観測や理想的な場での数値実験に基づく知見 ⇒現実的な場での数値実験(アンサンブル)で調べることは重要

^{はじめに} 2012年5月6日のスーパーセル竜巻

2012/5/6 12:30JST頃にほぼ同時に3つ発生

中でももっとも南の竜巻(つくば竜巻)は •長さ17km、幅0.5kmの範囲で被害 •死者1名、負傷者37名、住家全壊76棟 •F3(5秒間の平均風速70~92m/s)と推定

> 気象研究所二重偏波 ドップラー気象レーダー



本研究のポイント

二重偏波レーダー・地上観測などの高密度観測 データを同化して下層のメソサイクロンを予測 ⇒アンサンブル予報の結果を用い、どのような 時に下層メソサイクロンが強くなるのかを調査



LETKFネストシステムを用いた同化実験

システムの概要(矢印:アンサンブル予報、楕円:LETKF解析)



現業観測:

地上観測:

地上観測 (気圧), ラジオゾンデ (風, 湿度, 気温), 航空機観測 (風, 気温), レーダー (風,湿度), ウインドプロファイラ (風) 東京・羽田・成田・気象研レーダーの動径風, レーダー観測: 気象研レーダーの反射強度と比偏波間位相差から推定した雨水量 気象官署・アメダス・NTTドコモ環境センサーネットワークの風,気温,湿度

4/15



高密度観測データのイメージ



観測データには、気象庁の現業観測データの他に下記のものが含まれています。 ・株式会社NTTドコモよりご提供いただいた地上観測データ

・気象研究所気象衛星・観測システム研究部第二研究室よりご提供いただいた気象 研究所二重偏波レーダーデータ

5/15



発生した渦の強度・位置(地上0.8 km)



7/15

育: 洞度が最も強かうたメンバー 緑: 渦度が最も弱かったメンバー 赤: 32メンバーの平均を初期値とした実験

同化実験



$$\mathbf{x}_{n}$$
に対するJの感度
$$\frac{dJ}{dx_{n}} = \frac{\sum_{m} \left(J(m) - \overline{J} \right) \left(x_{n}(m) - \overline{x_{n}} \right)}{\sum_{m} \left(x_{n}(m) - \overline{x_{n}} \right)^{2}}$$

(Torn and Hakim, 2008)





本実験の *J(m)* **ζmax**: 鉛直渦度の最大値(最大値をとる時刻前後の20分の平均, s⁻¹) ※ダウンスケール実験(CTL)の地上0.8kmで計算

本実験の x_n(m) 実験初期時刻(1100JST)の下層の風(m s⁻¹)や水蒸気量(g kg⁻¹)など

<u>感度が大きい → $x_n(m)$ がより渦の強化に重要</u>

ァンサンブルに基づく感度解析 初期場に対する渦の強さの感度

下層の水蒸気混合比(1g/kg)と水平風(1m/s)に対するζmax(s⁻¹)の感度 (初期の水蒸気や風の変化に対して渦の強さがどの程度変わるか?を表す)



ζmax: 地上0.8kmの鉛直渦度の最大値(最大値をとる時刻前後の20分の平均,m/s)

9/15

7ンサンブルに基づく感度解析 下層の水蒸気と風がどのように渦を強めるのか?



ここまでに示したのは水平解像度350mの実験結果 (下層メソサイクロンの強化の要因を見ている)

₩

竜巻が強くなる要因を直接的に調べるには より高解像度が必要

水平解像度50mの実験

カラー:地上1.5 m気温(K)

1:33:00.00 JST

渦が最も強かったメンバーの渦度最大時刻のようす



鉛直渦度>0.5 s-1

1000m 950m 雲水>0.5 g kg⁻¹ 900m 850m 300m 750m 700m 650m 600m 550m 500m 450m 400m 350m 300m 250m 矢印:地上20 m 200m 150m 水平風(m s-1) 100m 赤:15 m s⁻¹以上 50m 青:15 m s-1以下 ۵ḿ _

12/15

水平解像度350mで再現された渦との比較

水平解像度50mの実験



13/15

水平解像度350mで再現された渦との比較

水平解像度50mの実験



まとめ

·2015年9月関東東北豪雨

- ・NHM-LETKFを用いてひまわり8号高頻度大気追跡風を同化
 - → 5km解像度・100メンバーのアンサンブル実験
 - → 大雨やそれをもたらす下層収束や下層相当温位を精度よく予測
- ・アンサンブル予報により、24時間降水量をリードタイムをもって確率的に予測できた

・2012年5月つくば竜巻

- ・NHM-LETKFを用いて高密度のレーダー動径風/雨水量・地上観測を同化
 - → 350m解像度・33メンバーのアンサンブル実験
 - → 竜巻をもたらす下層メソサイクロンを精度よく再現
- アンサンブルに基づく感度解析により、ストーム前方の下層収束が強く、ストーム後方の下層水蒸気量が多いほど、下層メソサイクロンが強まることが分かった
- 水平解像度50mの実験で表現される渦は、竜巻の特徴を持つ
 (今後、メンバー間の比較から、竜巻の発生・発達にとって重要な物理量を調べる)

本研究は「HPCI戦略プログラム 分野3 防災・減災に資する地球変動予測」(課題ID: hp120282, hp130012, hp140220, hp150214)、「社会システ ム改革と研究開発の一体的推進 気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」、「JST CREST「ビッグデータ同化」の技術革新の創出によるゲリラ 降雨予測の実証」、及び「ポスト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題 重点課題④ 観測ビッグデータを活用した気象と地球環境 予測の高度化」(課題ID: hp150289)より支援を受けました。高解像度のシミュレーションにはスーパーコンピュータ「京」を用いています。