



第1章 基礎編

1.7.6 メソアンサンブル予報システム


なぜメソモデルで アンサンブル予報を行うのか

大気にはカオス的な性質がある

- 初期値等に微小な誤差や不確実性があると、後の予測結果に大きな差を生むことがある
- 特に、(注警報の対象となるような)スケールの小さい現象では1日程度先においても影響が大きくなるほど予測誤差の時間発展が速い



予報がもつ不確実性を反映したばらつき(摂動)を加えた複数の予測を行い、**予報の誤差の広がり**を把握する**メソアンサンブル予報が必要**

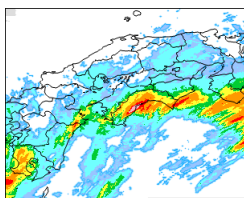
数値予報モデル	メソモデル(MSM) (asuca)
予報領域	
水平格子間隔	5 km
鉛直層数 (モデルトップ)	96 (37.5 km)
初期時刻	00, 06, 12, 18 UTC
予報時間	39時間
メンバー数	21
初期摂動	特異ベクトル法
側面境界摂動	全球特異ベクトルの 線形時間発展
モデル摂動	確率的物理過程強制法 (SPPT法)

大気にはカオス的な性質があり、予報時間が長くなればなるほど誤差が急激に大きくなることから、予報時間が長いときにメソスケール現象を時間と場所を特定して防災に資する精度で単一の決定論的予報から予測することには限界がある。メソモデルが対象とするメソスケール現象の予測は防災上極めて重要であるが、総観スケールの現象に比べて予測可能性が本質的に低いことが指摘されている。これは、ほぼ完全な初期値、数値予報モデルといった理想的な条件下でも、メソスケール現象予測では積雲対流などの時空間スケールの小さい現象の非線形性が卓越し、初期値に含まれる僅かな誤差が急速に時間発展することにより、短時間のうちに決定論的予測限界を迎えることを意味している(國井・小野 2020)。そのため、災害をもたらすような局地的な集中豪雨等のメソスケール現象を時間と場所を特定して予測するには、未だ多くの困難が残されている。一方、現象の予測不確実性を評価するアプローチとしては、数値予報の誤差の要因に対応する僅かなばらつきを加えた複数の予測(アンサンブル予報)が有効である。アンサンブル予報はメソモデルの予測に対する信頼度の把握や複数シナリオの抽出などを可能とするため、顕著現象への効率的なリスクマネジメントという点で非常に有用な手段となる。気象庁では、メソ数値予報システムのアンサンブル予報であるメソアンサンブル予報システムの本運用を2019年6月27日に開始した(河野ほか 2019)。メソアンサンブル予報システムの仕様を表にまとめた。詳細は次頁以降に示す。

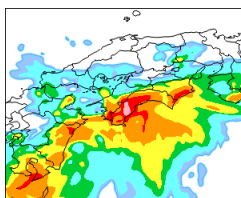
メソアンサンブル予報システム

- Meso-scale Ensemble Prediction System: MEPS
- **MSMの予測に対して、コントロールラン(MSM)とは異なる複数の予測を計算し、信頼度・不確実性等の情報を提供することを目的とする数値予報システム**
- MSMと同じ水平格子間隔(5km)で、日本付近を対象に1日4回3時,9時,15時,21時初期値の39時間先までのアンサンブル予測計算(21メンバー)を実行

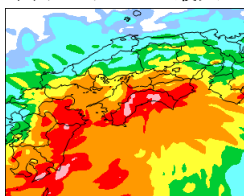
(a) 解析雨量



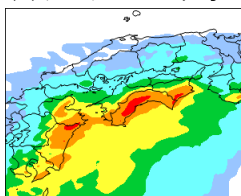
(b) コントロールラン



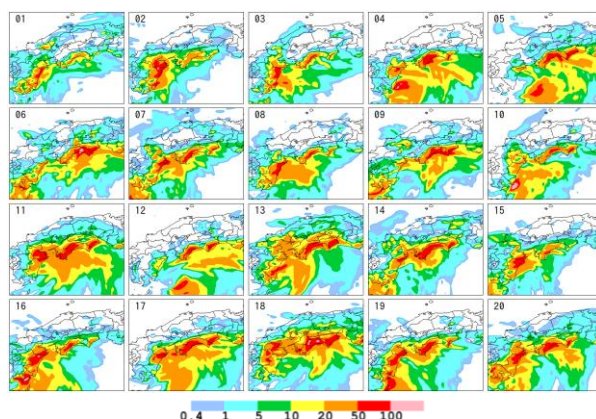
(c) アンサンブル最大



(d) アンサンブル平均



アンサンブルメンバー(摂動ラン: 20メンバー)の予測



0.4 1 5 10 20 50 100

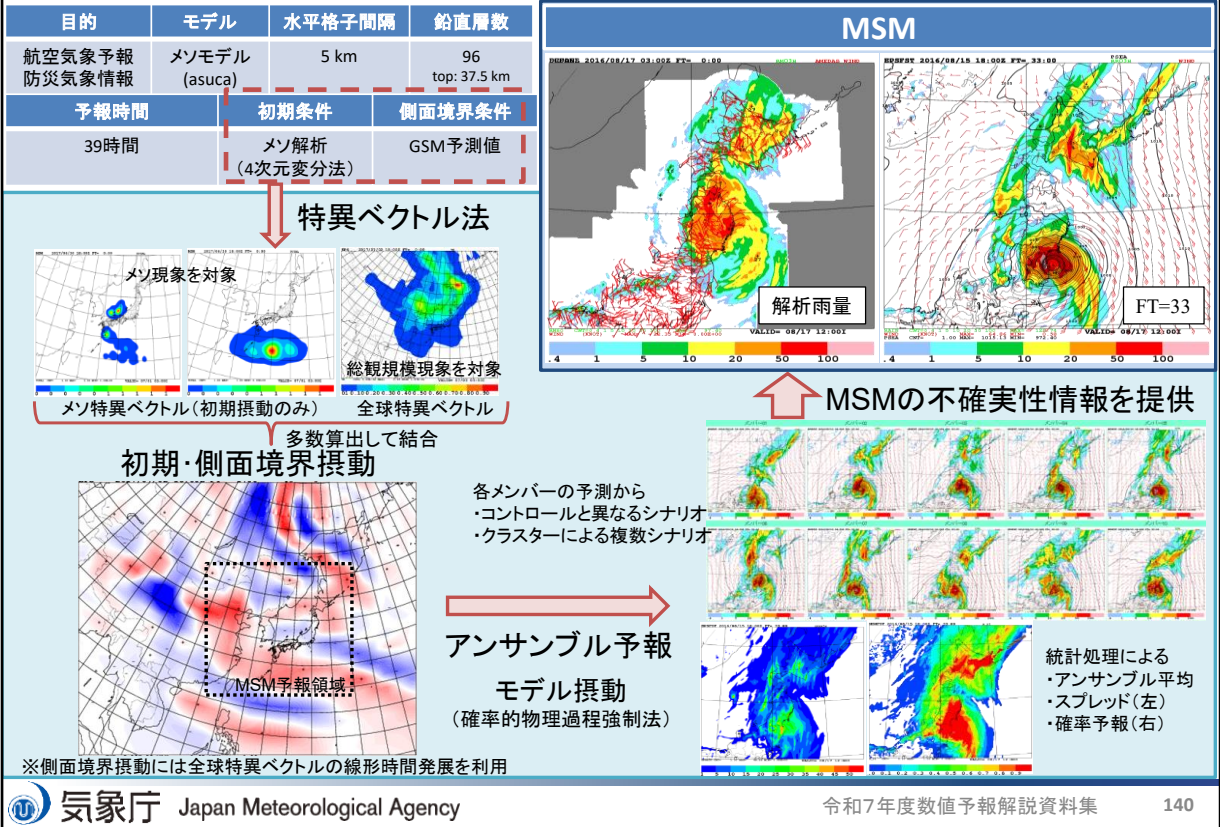
2022年7月3日15時 初期値 7月5日0時の3時間降水量(33時間予報)



メソモデルの予測に対してより適切な信頼度や不確実性等の情報を提供するために、メソアンサンブル予報システムの各メンバーの予測特性がメソモデルと同様であることが望ましい。そこでメソアンサンブル予報システムでは、各メンバーの予測における計算領域や水平格子間隔、鉛直層配置、物理過程を含む各種設定を、全てメソモデルに揃えている。メソアンサンブル予報システムは水平格子間隔5km鉛直96層であり、メソモデルと同じ asuca を使用して、1日4回39時間先までのアンサンブル予測計算を行っている。

図に、メソアンサンブル予報システムの予測結果の一例を示す。メソアンサンブル予報システムは、アンサンブル摂動を加えないメンバー(コントロールラン:メソモデルによる予測結果そのもの。1メンバー)と、コントロールランにアンサンブル摂動を加えたメンバー(摂動ラン:20メンバー)の計21メンバーの予測結果を出力する。メソアンサンブル予報システムにおいては、初期摂動や側面境界摂動のほかに、数値予報モデル自体の不確実性を考慮することを目的に確率的物理過程強制法(SPPT法: Stochastically Perturbed Parametrization Tendencies scheme)によって摂動を与えている。下部境界摂動は考慮していない。各アンサンブルメンバーは初期値と側面境界値を除きメソモデルと全く同じ仕様である。格子ごとのメンバー間の最大値をアンサンブル最大、平均値をアンサンブル平均という。これらは統計量であり、モデルの予測結果そのものではないため、利用にあたっては物理量間で整合が取れたものになっていないことに注意が必要である。

メソアンサンブル予報システムの概要



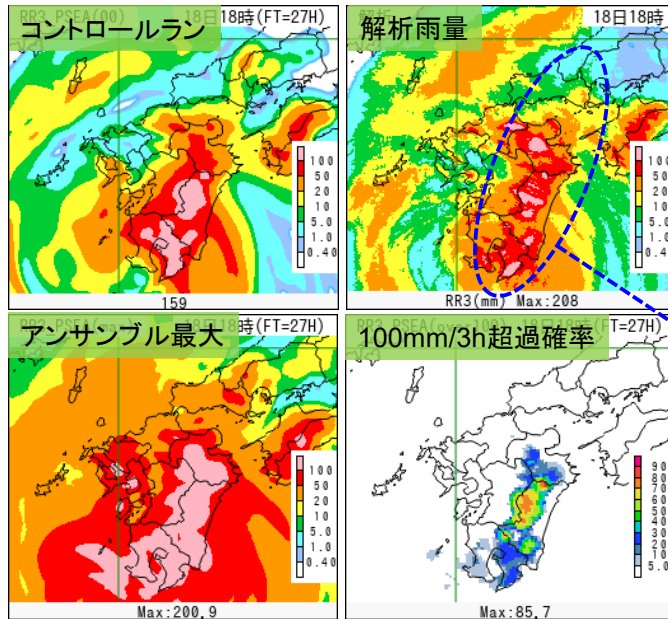
スライドに、メソアンサンブル予報システムの具体的な処理の流れを示す。

メソアンサンブル予報システムにおいては、コントロールランであるメソモデルの初期値・側面境界値および物理過程の一部(積雲対流過程と放射過程)に摂動を加えることで摂動ランを計算している。初期値・側面境界値の摂動作成の手法として、少ないメンバー数でメソモデルの不確実性を効率的に表現するため、特異ベクトル法という手法を用いている。特異ベクトル法は指定した評価時間・領域において線形成長率の大きい摂動を算出する手法で、アンサンブル予報における有効な初期摂動作成手法のひとつである。特異ベクトルには、気象庁全球モデルに基づく全球特異ベクトル、気象庁非静力学モデル JMA-NHM に基づく水平格子間隔の異なる2種類のメソ特異ベクトルがあり、これら特異ベクトルを多数算出して結合することで初期値摂動を作成する。側面境界値摂動については、全球特異ベクトルを時間発展させたものを利用して作成する。これら初期値・境界値摂動によって20メンバーの摂動ランを構成している。

このように構成した20メンバーの摂動ランについて、確率的物理過程強制法によりモデル自体の不確実性を考慮したうえで、メソモデルと同じ asuca を用いて予測計算を行い、各摂動ランの予測結果とする。この時、統計処理によってアンサンブル平均やアンサンブルスプレッド、確率予報などを算出している。また、メソアンサンブル予報システムによる予報摂動により、局地解析のハイブリッド同化に必要なモデル誤差を与えている。

メソアンサンブル予報システムによる予測例 令和4年台風第14号

令和4年9月18日18時を対象とした前3時間降水量
(令和4年9月17日15時初期値 FT=27)



九州南東斜面での
100mm/3h以上の
強雨に注目

- 超過確率:
最大80%程度

令和4年台風第14号による大雨の事例について、メソアンサンブル予報システムによる予測結果をスライドに示す。令和4年9月18日18時を対象とした前3時間降水量で、コントロールラン、解析雨量、アンサンブル最大、100mm/3h超過確率を示している。ここで、100mm/3h超過確率は、100mm/3hの降水量となったメンバーの割合を格子ごとに計算した統計量である。

解析雨量で示される九州南東斜面での100mm/3hの強雨に着目する。コントロールランでは九州南東斜面での100mm/3hの強雨を捕捉できているが、個々のアンサンブルメンバーでも強雨を予測しており、100mm/3hの超過確率は高いところで80%程度である。超過確率の高さから九州南東斜面の強雨予測の信頼性が高いことを伺い知ることができる。

参考文献

- 河野耕平, 氏家将志, 國井勝, 西本秀祐, 2019: メソアンサンプル予報システム. 令和元年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-15.
- 國井勝, 小野耕介, 2020: メソアンサンプル予報システム, 令和元年度数値予報課報告・別冊第66号, 気象庁予報部, 85-115.