

# 気象庁メソアンサンブル予報システムの SPPT 法の開発

\*川田英幸, 河野耕平, 國井勝, 欠畑 賢之 (気象庁情報基盤部数値予報課)

## 1. はじめに

現在の気象庁の現業メソアンサンブル予報システム (MEPS)[1]は, 初期値及び側面境界値に摂動を与える事で, 気象庁のメソモデル(MSM)の予測の不確実性を表現している. 一方, 現在は数値予報モデル自体の不確実性を考慮できていないため, これを考慮するモデルアンサンブル手法の導入を MEPS の改良における優先課題の一つとしている [2].

今回, モデルアンサンブル手法のうち, 諸外国の領域アンサンブル予報システムでも利用実績があり, 確率予測精度の改善に効果的とされている確率的物理過程強制法 (SPPT 法; Stochastically Perturbed Parametrization Tendencies scheme) [3], [4]の導入を試みた. ここではその初期実験の結果について報告する.

## 2. 確率的物理過程強制法 (SPPT 法)

SPPT 法は, 物理過程の時間変化率に摂動を与える事で, モデルの物理過程の不確実性を表現することを狙った摂動手法である. 摂動を与える前の物理過程の時間変化率を $X_c$ , 摂動を与えた後の時間変化率を $X_p$ として, 以下の関係を満たす摂動を与える.

$$X_p = (1 + r_x)X_c$$

ただし $r_x$ には時空間に相関を持つガウス型の乱数を与える[4]. 乱数のパターンや, どの物理過程に摂動を与えるか, どの領域で摂動を抑制するか等には任意性がある. 今回は, MSM の時間積分構造を考慮した実装上の容易さから, 放射・境界層・地表面・積雲対流過程を足し合わせた時間変化率に摂動を与える実験を行った. また, 乱数 $r_x$ については, 他モデルの設定値[4]を参考に相関時間6hr, 相関距離500kmに設定し, 振幅 $\sigma$ を変更して実験を行った.

## 3. SPPT 法単独実験

SPPT 法による感度を確認するために, 初期・側面境界値には摂動を入れずに, SPPT 法による摂動のみでの実験 (SPPT 法単独実験) による調査を行った. 図1は, 2020年7月1日00UTC~2020年7月10日の18UTCまで6時間毎に実行した40事例について, SPPT 法の振幅を変更した実験の統計検証結果である. 左図は3時間積算降水量のブライアスキルスコア(BSS), 右図の実

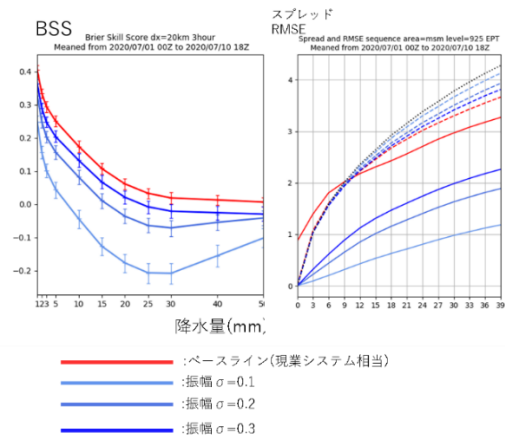


図1 SPPT 法単独実験の検証結果. (左)3時間降水量のブライアスキルスコア, 横軸は閾値[mm/3h]. (右)アンサンブル平均のRMSEとアンサンブルスプレッド(925hPa面での相当温位), 横軸は予報時間[h]. 当時の現業システム相当(ベースライン)についても赤線で示す. (図2のベースラインと同じ)

線はスプレッド, 点線はアンサンブル平均のRMSEを表しており黒の点線はコントロール予報のRMSEを示している. 図1の左図から, 降水確率予報の精度は振幅を大きくすることで精度が改善する傾向が確認できる. また, 右図からは, 振幅を大きくすることでスプレッドが大きくなり, アンサンブル平均のRMSEが改善する事が確認できた (他の予報要素についても同様の傾向). 一方, SPPT 法単独では降水確率予報の精度がベースラインより悪く, スプレッドが不十分である事も確認できる. また, 振幅 $\sigma = 0.4$ とすると計算不安定となる事例があった. これらの結果を踏まえ, 単独実験での降水などのスコアがもっとも良かった振幅 $\sigma = 0.3$ を基本に, 次節の初期・側面境界値摂動との結合実験を行う事とした.

## 4. 初期値・境界値摂動との結合実験

SPPT 法によるモデル摂動と, 特異ベクトル法による初期値・側面境界値の摂動を組み合わせたシステムでの実験を行い当時の現業システム相当(ベースライン)との比較を行った(図2). 実験期間は SPPT 法単独実験と同一である. なお, 本実験では, SPPT 法と初期・側面境界値摂動を組み合わせたスプレッドが適切なスプレッドとなるよう, 初期摂動の振幅と最大値を, 現業シス

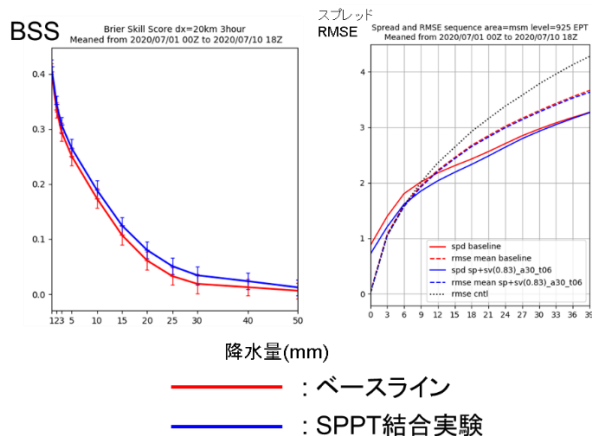


図2 図1と同じ。ただし、SPPT法+SV法による初期・側面境界摂動の結合実験の検証結果。

テムでの設定の約80%にする調整を行っている。図2の左図から分かるとおり、降水のBSSにおいてはベースラインを上回る結果となっている。一方各要素のアンサンブル平均のRMSEはベースラインと比べてほぼ中立であった(図2右図)。但し個別に各要素のスプレッドを比較すると、RMSEに比べて過大なスプレッドが縮小されている要素や、過少なスプレッドが大きくなっている要素が見られ、概ねスプレッドの適正化に寄与していると思われる結果が得られている。(図略)

令和2年7月豪雨のうち、3日～4日の熊本県を中心とした大雨をもたらした線状降水帯による事例での降水予測(3時間降水量)について比較を行った(図3)。現業メソモデル(MSM)による予報(右上図)や、ベースラインのメンバー(左下図)が表現していなかった、より実況に近い降水量を表現しているメンバーがあることが確認できる(右下図)。

## 5. まとめ

MEPSに、SPPT法によるモデルアンサンブル手法を導入し、その効果を確認している。SPPT法単独の実験では、SPPT法によって各メンバー間のスプレッドが広がり、降水や各種のスコアを改善する効果があることが確認できた。初期値・側面境界値への摂動との結合実験では、初期・側面境界摂動の振幅を調整することで、降水確率予測などで現行システムを上回る結果が得られた。また、令和2年7月豪雨の線状降水帯の事例では、現行システムよりも実況に近い降水量を予測しているメンバーがあった。今後は、摂動を与える物理過程の調査、SPPT法の乱数や初期・側面境界値の振幅などパラメータの適切な値について、調査を進めたい。

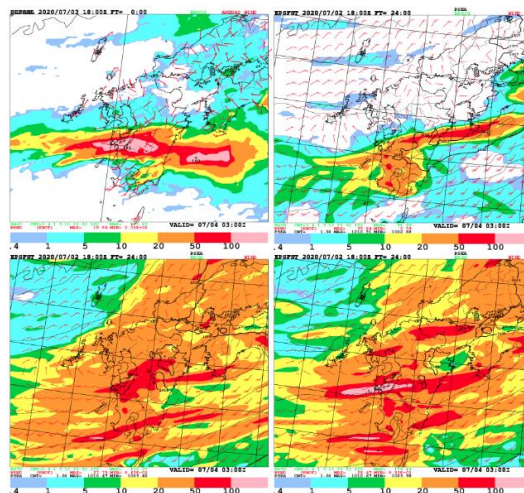


図3 2020年7月2日18UTC初期値、24時間予報における3時間降水量。左上:解析雨量、右上:コントロール予報、左下:MEPS予報の全メンバー最大降水量(全メンバーの予測結果の最大値を格子ごとに抽出)、右下:SPPT法+SV法による予報の全メンバー最大降水量

前者については、晴天放射過程の時間変化率は不確実性が少なく、摂動を与えない事が有効という結果[5]もある。また、他のモデルアンサンブル手法との併用が有効であるとの調査もあり、これらの面での調査を進める予定である。

## 参考文献

- [1] Ono, K., M. Kunii, and Y. Honda, 2020: The regional mode-based Mesoscale Ensemble Prediction System, MEPS, at the Japan Meteorological Agency. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. (accepted)
- [2] 國井 勝, 2019: 数値予報課報告・別冊 66号, 気象庁予報部, 108-115.
- [3] Buizza, R., M. Miller, and T. N. Palmer, 1999: Stochastic representation of model uncertainties in the ECMWF ensemble prediction system. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 125, 2887-2908.
- [4] Palmer, T. N., R. Buizza, F. Doblas-Reyes, T. Jung, M. Leutbecher, G. J. Shutts, M. Steinheimer, and A. Weisheimer, 2009: Stochastic parametrization and model uncertainty. ECMWF Tech. Memo, 598, 42 pp.
- [5] Lock, S.J., Lang, S.T.K., Leutbecher, M., Hogan, R.J. and Vitart, V. (2019) Treatment of model uncertainty from radiation by the Stochastically Perturbed Parametrization Tendencies (SPPT) scheme and associated revisions in the ECMWF ensembles. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 145(Supplement 1), 75–89.