



第2章 応用編

2.2 全球アンサンブル予報システムの改良

改良の概要

- アンサンブル手法の高度化
 - 確率的水蒸気プロファイル参照法の導入
 - 初期摂動振幅調整
 - SST摂動改良
- 全球モデルと同じ改良を適用、省資源化

令和7(2025)年3月には全球アンサンブル予報システム(GEPS)にも改良を加えたので、その概要を述べる。

今回はアンサンブル手法の高度化として次の3点を実施した。

- ・確率的水蒸気プロファイル参照法の導入
- ・初期摂動振幅調整
- ・SST摂動改良

確率的水蒸気プロファイル参照法とは、積雲対流過程の入力となる水蒸気の鉛直分布に摂動を加えることにより、積雲対流の効果の不確実性を表現する手法である。

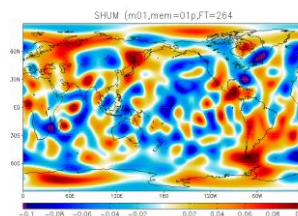
また、予報モデルは前節で改良されたGSMへ同時に更新した。

詳細な解説は数値予報開発センター(2024, 2025)を参照されたい。

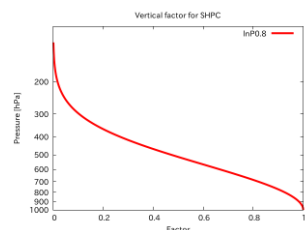
確率的水蒸気プロファイル参照法 (SHPC)の導入

- 積雲対流過程の入力となる下層の水蒸気プロファイル(相対湿度)を揺らすことで中期EPSの時間スケールで積雲対流が発動する・しない、発動の程度の不確実性を扱う。
- 選択したパラメータは以下の通り。
 - 最下層振幅0.005、MAX0.1 (STDV約4%、最大+/-10%)
 - 水平最大波数20
 - 時間相関スケール72時間
 - 鉛直減衰スケールlnP0.8
- 現状熱帯SVによって過剰になっている熱帯初期摂動の振幅を減らす(0.2→0.12)とともに、**熱帯のばらつき不足の緩和と確率予測精度の向上を狙う。**

乱数パターンの例



振幅の鉛直分布



アンサンブル予報の手法は、大きく分けて初期値アンサンブル、境界条件アンサンブル及びモデルアンサンブルに分類される。

今回導入した確率的水蒸気プロファイル参照法(SHPC: Stochastic Humidity Profile for Convective parametrization)は、積雲対流過程の入力となる下層の水蒸気プロファイル(相対湿度)を揺らすことで中期EPSの時間スケールで積雲対流が発動する・しない、発動の程度の不確実性を扱うモデルアンサンブル手法である。水平方向には確率的物理過程強制(SPPT)法で用いているような時空間相関を持った乱数パターンを用い(右上図)、鉛直方向にはモデル最下層を振幅最大として上層は対数気圧で指数関数的に減少する形(右下図)で、積雲対流過程の入力の相対湿度のプロファイルに摂動を加える。

本手法の狙いはスプレッドが不足している熱帯においてスプレッドを増加させるとともに、ばらつきの不足を補うために過剰に与えている熱帯SVによる初期摂動の振幅を小さくすることにより、熱帯の予測のばらつきを適正化し、確率予測精度を向上させることにある。このため、SHPC法の導入に合わせて、熱帯SVによる初期摂動の振幅を現行の60%に縮小する変更を加えた。

SST摂動のリセンタリング方法の変更

- SST摂動作成の際、アンサンブル平均がコントロールラン(摂動なし)と一致するようにリセンタリング※している
※摂動のアンサンブル平均を各メンバーから引く
- 予測18日以降は、摂動50メンバーから24メンバーになるが、リセンタリングは50メンバーに対して行っている → **リセンタリングのずれ**
- 摂動メンバーを2グループ(24+26)に分けて、それぞれリセンタリング
 → 全期間でアンサンブル平均がコントロールランと一致
 → 地上気温の予測精度に、若干改善が見られる(相対的にインパクトは小さい)

↓再予報も変更

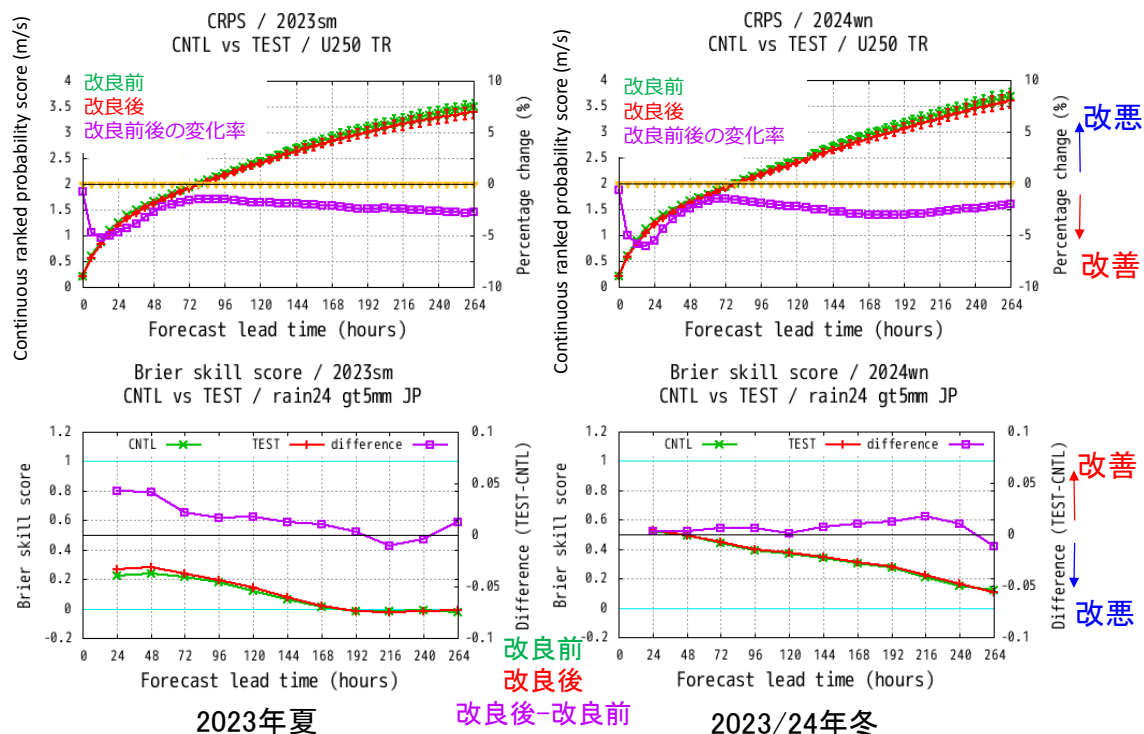
	現業予報 (18日以前)	現業予報 (18日以降)	再予報
全摂動メンバー数	50	24	12
リセンタリングの 対象メンバー数	50 → 24 + 26	50 → 24	50 → 12

気象庁が運用している全球アンサンブル予報システム(GEPS)では、下部境界条件として与える海面水温(SST)の作成手法として2段階SST法(高倉・小森 2020)採用している。2段階SST法では、初期時刻の対気候値偏差を予測期間において固定して気候値変動分のみを時間変化として扱う偏差固定SSTから、季節アンサンブル予報システムの大気海洋結合モデルで別途計算された予測SSTに予測期間中に切り替えている。さらに、SSTの不確実性を表現するためにSST摂動を導入しており、この摂動作成の際、アンサンブル平均がコントロールランと一致するようにリセンタリングしている。

予測18日以降は、摂動は50メンバーから24メンバーになるが、リセンタリングは50メンバーに対して行っており、リセンタリングにずれが生じている状況であった。

これを、摂動メンバーを2グループ(24+26)に分けて、それぞれリセンタリングすることで、全期間でアンサンブル平均がコントロールランと一致するようにした。

GEPS 熱帯・日本域降水の確率予測精度



ここからは改良のインパクトについて述べる。まずは熱帯及び日本域の降水の確率予測精度を示す。

上段は熱帯250hPa東西風速のCRPS、下段は5mm/24h閾値の降水確率の対アマダスブライアスキルスコア(BSS)であり、左列が2023年夏、右列が2023/24年冬である。緑線が改良前、赤線が改良後、紫線が改良前後の変化率であり、上段では下ほど、下段では上ほど改善の度合いが大きいことを示す。

上段の図について、熱帯では予測初期での過剰なばらつきを減少させたことやSHPC法の導入等によりスプレッドが適正化したことでCRPSが改善(紫線が負)、すなわち熱帯の確率予測精度が改善している。

下段の図について、日本付近の降水確率予測のBSSも改善(紫線が正)が見られる。これは降水予測がよりばらつくようになって信頼度が改善し、より実況を捕捉できるようになったためである

実験期間

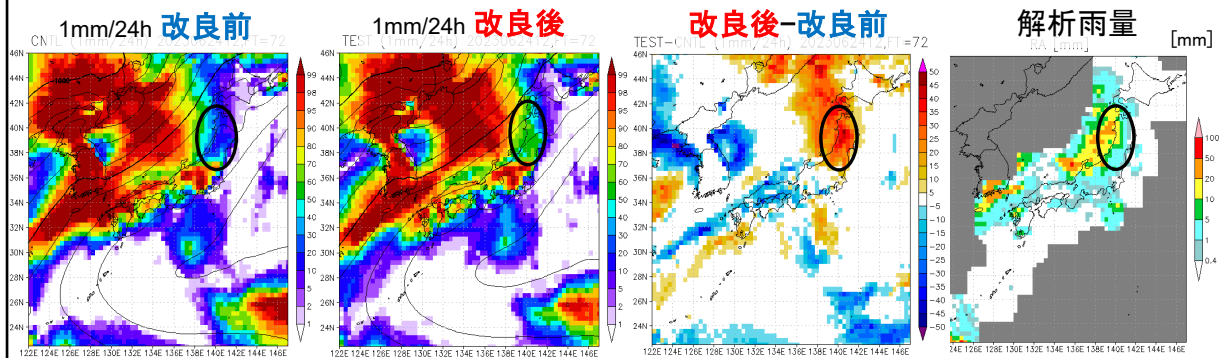
夏実験:2023年6月21日~2023年10月11日

冬実験:2023年11月21日~2024年3月11日

CRPS:Continuous Ranked Probability Score. 確率予測の精度指標の1つ。0に近いほど確率予測の精度が高いことを意味する。

BSS:Brier Skill Score. 気候値予報を基準とした予報の改善の度合いを示す。完全予報で1、気候値予報で0、気候値予報より誤差が大きい場合は負となる。

GEPS 降水予測改善事例



2023年6月24日12UTC初期値FT=72の前24時間降水量予測1mm/24hの超過確率(左から改良前、改良後、改良後-改良前)、解析雨量(右)

改良後の方が北日本への降水域の広がりが早いメンバーが多く(黒丸)、予測は改善している。

統計的には改良後の方が降水予測のばらつきが大きく、それにより信頼度が改善して予測精度の改善につながっている。



日本付近夏季の降水予測精度改善

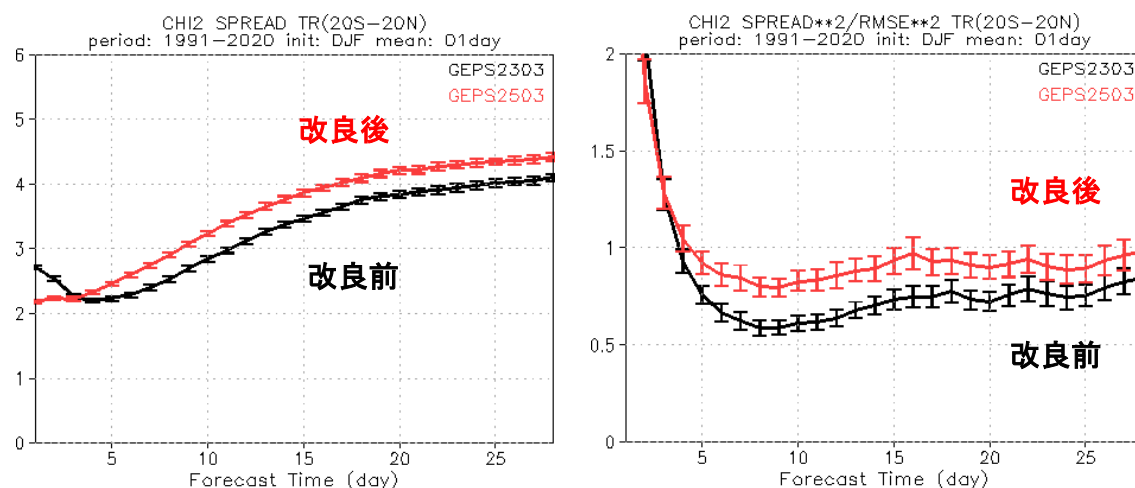
次に、GEPSの降水予測が改善した事例を示す。

図は2023年6月24日12UTC初期値FT=72の前24時間降水量予測1mm/24hの超過確率(左から改良前、改良後、改良後-改良前)、解析雨量(右)である。

改良後の方が北日本への降水域の広がりが早いメンバーが多く(黒丸)、より実況を捕捉しており、予測が改善している。

統計的には改良後の方が降水予測のばらつきが大きく、それにより信頼度が改善して予測精度の改善につながっている。

熱帯CHI200のスプレッド、RMSEとの比



- 熱帯初期摂動の振幅を小さくしたことで、予測初期のスプレッドの過大傾向は軽減。
- SHPCの導入により、予測4日以降のスプレッドは増加。RMSEとの比は、概ね1に近づく傾向。

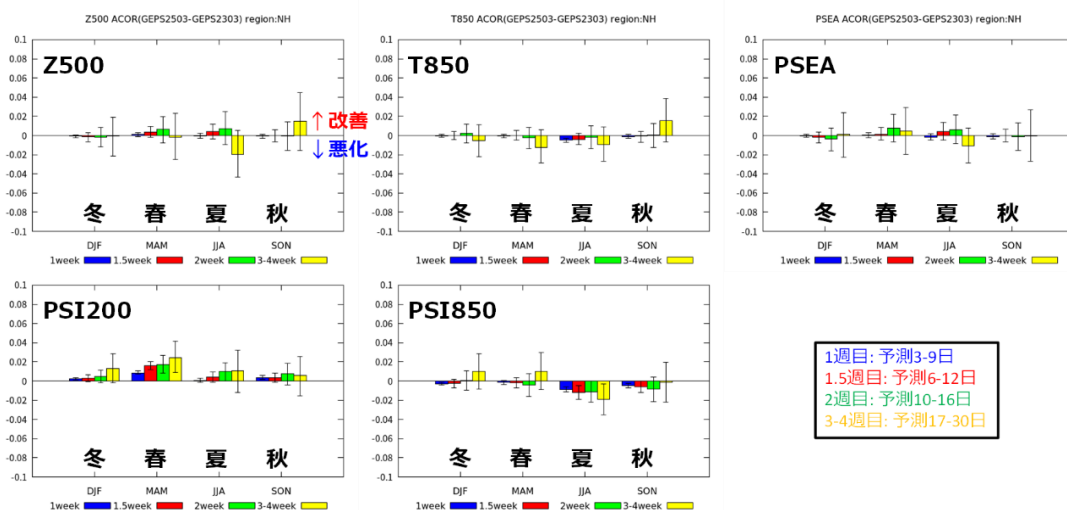
次に、再予報型実験における熱帯域での200hPa速度ポテンシャルのスプレッド(左)とRMSEとの比(スプレッドスキル、右)の予報時間時系列を示す。

図はいずれも冬初期日サンプルの結果であり、黒線は改良前、赤線は改良後を表す。横軸は予報時間[日]である。

左図では、熱帯初期摂動の振幅を小さくしたことで、予測初期のスプレッドの過大傾向は軽減し、SHPCの導入により、予測4日以降のスプレッドは増加したことで、予報開始から一貫して予報時間とともにスプレッドが増加するようになった。

また、右図の通りスプレッドとRMSEとの比は、予報5日目以降に改良後の方が改良前よりも理想的な値である1に近い値で推移していることが確認できる。

再予報実験での アンサンブル平均のACCの差



最後に、再予報実験(1991~2020年の各月2初期日)での、アンサンブル平均のアノマリー相関係数(ACC)の改良後-改良前の差を示す。

これらの図は、上段は左から500hPa高度、850hPa気温、海面更正気圧、下段は左から200hPa流線関数、850hPa流線関数であり、北半球域、バイアス補正無しのものである。各図内は左から冬、春、夏、秋でそれぞれ検証した結果を示す。検証の対象とした予報時間は図中の凡例を参照されたい。

春の200hPa流線関数ではやや改善傾向、夏の850hPa流線関数はやや悪化傾向であるが、いずれの季節・要素でも変化が小さく概ね中立の結果となった。

ACC: Anomaly Correlation Coefficient. 予報値の基準値からの偏差(アノマリー)と実況値の基準値からの偏差との相関係数。

参考文献

- 数値予報開発センター, 2024: 全球アンサンブル予報システムの開発, 数値予報開発センター年報(令和5年), 気象庁数値予報開発センター, 91-92.
- 数値予報開発センター, 2025: 全球アンサンブル予報システムの開発, 数値予報開発センター年報(令和6年), 気象庁数値予報開発センター, 55-59.
- 高倉 寿成, 小森 拓也, 2020: 2段階SST法の詳細と導入事例紹介. 令和2年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 2-8.