

## 1. はじめに

現代の数値天気予報は、大気の運動を記述する時間発展方程式をコンピュータ上で積分（シミュレーション）することによって実現される。積分に必要な初期値（現実的な大気状態）は、観測データをもとに「データ同化」と呼ばれる統計論に基づく手法を用いて推定される。精度のよい大気状態の推定には、その大気状態の観測データが必要となるが、海上における観測は主に気象衛星に限られる。このため熱帯海洋上で発生、発達する台風の、特に中心付近の高精度な大気状態（風速分布や中心気圧）の推定は現在でも困難である。一方、近年気象衛星ひまわり 8号の高頻度観測から、台風中心付近の風速を定量的に推定する手法が開発されている（例えば、Tsukada and Horinouchi 2020, GRL）。このような台風中心付近の風速は、初期値の推定を改善し、台風強度予報にインパクトを与えることが期待される。

本研究では、2018 年日本に上陸した台風 Trami を対象に、衛星観測による風速をデータ同化することで、台風中心付近の高精度な大気状態の推定を試みる。データ同化手法には、近年盛んに研究されているアンサンブルカルマンフィルタ（EnKF）が用いられる。昨年度は数値大気モデルによる台風シミュレーションデータから作成した擬似的な観測を同化し、予報初期値における台風渦の構造や風速分布が擬似観測に近づくことを示した。今年度は Trami の成熟期から衰退期にかけて実際に観測された衛星推定の風分布を同化することで、予報へのインパクトを検証する。

## 2. 手法

本研究では、理化学研究所で開発されている EnKF ベースの数値予報同化システム SCALE-LETKF を用いた予報実験を実施する。EnKF データ同化手法は以下の通りである。時間発展方程式の予報変数を状態ベクトル  $\mathbf{x}$  で表現する。このとき、初期値  $\mathbf{x}^a$  は、第一推定値の大気状態ベクトル  $\mathbf{x}^b$  に、任意の観測データをベクトルにした  $\mathbf{y}^o$  を取り込むことで作成される：

$$\mathbf{x}^a = \mathbf{x}^b + \mathbf{B}\mathbf{H}^t (\mathbf{H}\mathbf{B}\mathbf{H}^t + \mathbf{R})^{-1} [\mathbf{y}^o - \mathbf{H}(\mathbf{x}^b)].$$

$\mathbf{B}, \mathbf{R}$  はそれぞれ第一推定値と観測の誤差共分散行列を表す。 $\mathbf{H}$  は  $\mathbf{x}$  を観測と同じ変数に変換する関数、 $\mathbf{H}$  は  $\mathbf{H}$  の接線形演算子である。観測をどの程度取り込むかは、 $\mathbf{B}, \mathbf{R}$  を重みとして統計的に決まる。EnKF では、 $\mathbf{B}$  を求めるために、多数メンバーによるアンサンブルシミュレーションを用いる。

同化には Tsujino et al. (2021, JGR) で解析された、台風 Trami の衰退期 (2018 年 9 月 26 日 00 UTC から 27 日 06 UTC) の軸対称接線風観測データ (台風中心から動径方向の解像度は 2 km, 観測範囲は台風中心から 100 km 以内) を用いる。 $\mathbf{B}$  の計算に必要なアンサンブルサイズは昨年度の研究に基づき 30 メンバーを用意する。SCALE によるシミュレーションは水平解像度 3 km, 水平格子数 640×720, 鉛直 36 層の計算領域に渡って実施される。観測データの存在する時間頻度から 1 時間ごとに同化・解析サイクルが実施される。9 月 26 日 00 UTC から 27 日 06 UTC までを同化・解析期間とし、それ以降 27 日 18 UTC までを数値予報 (同化せずに時間積分) する。1 実験の実行には Type-I システム 248 ノードを用いる。同化解析で設定が必要となる複数の経験的パラメータは昨年度の実験で得られた値を用いる。同化・解析の影響を評価するために、全く同じ初期値、境界値で同化を行わない 30 メンバーのアンサンブルシミュレーション (フリーラン) を実施する。

### 3. 結果

図1は9月27日06 UTCまで衛星からの風観測データを同化した実験とフリーラン実験で得られた各アンサンブルメンバーの台風中心気圧の時間変化を示している。同化・解析期間では台風が成熟期を過ぎて衰退していることが気象庁ベストトラック解析から示唆されている(図1黒星)。9月26日00 UTCでの両実験における30メンバーの台風中心気圧は910から930 hPaの範囲で表現されており、同化が行われる前の台風強度は現実より非常に強く表現されている。同化・解析が進むと30メンバー全てにおいて台風強度が急速に衰弱し、同化開始時刻から6-12時間で気象庁ベストトラックの強度解析に追従することがわかる。この同化では台風中心から半径100 km以内の軸対称接線風速のみを用いており、中心気圧に関する観測データは用いていない。LETKFでは上式で示された解析方程式における誤差共分散行列の誤差相関(**B**の非対角成分)によって、軸対称接線風観測データによる修正が温度や大気密度といった予報変数にも反映される。衰退期における台風の軸対称接線風の弱体化は観測で捉えられている。したがって、同化による台風中心気圧の上昇は、観測の接線風弱体化と力学的に整合した気圧場の修正であることを示している。27日06 UTCの同化最終時刻から12時間予報すると、同化された渦構造によってベストトラックとある程度類似した強度の台風がモデル内で予報可能であることが示された。データ同化をしないメンバーでは、初期の中心気圧を維持したまま、長時間にわたって気象庁ベストトラックの解析と大きく異なった台風強度が予報されることがわかる。

以上の結果から、静止気象衛星の高頻度画像から得られる台風中心付近の風速観測データをLETKF同化・解析システムに用いることによって、観測の少ない海洋上で数値予報モデル内の台風渦構造をより現実に近づけることが示された。これは台風中心付近の衛星風速観測が台風強度予報を改善するポテンシャルを有することを示唆するものである。今後は本研究で開発したシステムを用いて複数事例で衛星による風速観測データのインパクトを調査する。また本研究で得られた結果をさらに解析し、論文としてまとめる予定である。

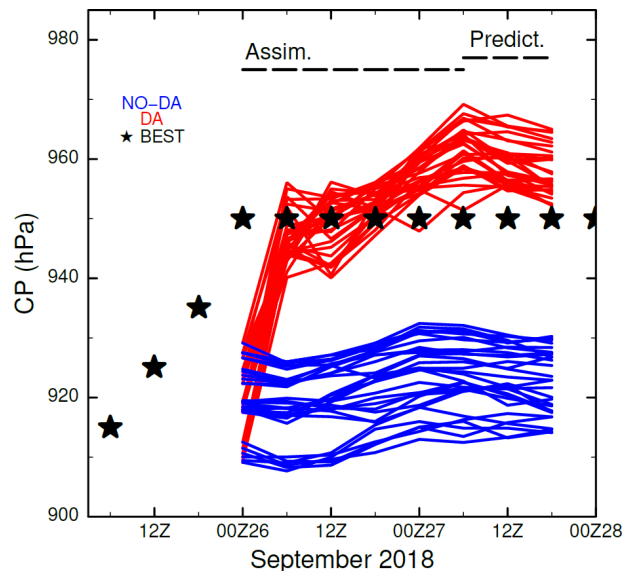


図1:同化あり(赤線)と同化なし(青線)でのアンサンブル30メンバー数値実験における台風中心気圧の時間変化。黒星は気象庁ベストトラック解析での中心気圧を示す。同化あり実験における同化・解析は9月26日00 UTCから27日06 UTCまで、1時間ごとのサイクルで実施される。