

対流圏の温度条件が台風の強度と構造に及ぼす影響

Effects of Tropospheric Temperature Conditions on the Intensity and Structure of Tropical Cyclones

○山崎 聖太・竹見 哲也

○Shota YAMASAKI, Tetsuya TAKEMI

The change in the intensity of TCs depends on environmental conditions. Physical mechanisms on how the environmental conditions affect the TC intensification are still not fully understood. In this study, we investigate the influences of environmental conditions, i.e., the tropospheric temperature structure, on the change in the intensity and structure of TCs by using an axisymmetric non-hydrostatic model. Specifically, we focused on effects of tropospheric temperature lapse rate, tropopause-level temperature, and tropopause-height on the intensity and structure of TCs by conducting a series of numerical experiments in which those tropospheric parameters are systematically changed. It was found that the temperature lapse rate has the most significant impacts on the change in the TC intensity. The tropopause-height and temperature also have positive impacts on the TC intensification. A higher tropopause condition leads to an enhanced secondary circulation and the increase in the TC intensity.

1. はじめに

台風には、その周囲の環境条件によって、発達できる上限強度 (Maximum potential intensity: MPI) が存在すると考えられている。Emanuel は台風を熱機関とみなして MPI を理論的に導出した (Emanuel 1986, 1988)。その MPI の式によれば、海面温度 [T_s] が高く、台風のアウトフロー高度における温度 [T_o] が低い環境ほど MPI が増加する。2 つの変数のうち、 T_s は台風へのエネルギー供給に関わることから、特に重要な要素と位置づけられ、その効果について多くの研究がなされてきた。一方、台風強度に及ぼす T_o の効果についての研究は十分であるとは言えない。

IPCC 報告書に関連した気候予測実験などから、将来気候では現在に比べて対流圏内の気温や T_s が上昇し、 T_s と T_o の差が減少する (気温減率 [Γ] が小さくなる) ことが分かっている。また、地球温暖化が台風強度に及ぼす影響を調べた研究 (Kanada et al., 2017) から、将来気候条件では T_s の上昇と大気中の水蒸気量の増加、対流圏界面高度 [H_t] の上昇に伴い、台風の壁雲がより高く成長し、台風強度が大きく増加することが示された。

以上の背景を踏まえ、本研究では MPI の式に含まれる変数 T_o に加え、 Γ や H_t が台風の強度と構造へ及ぼす影響を調べることを目的とする。

2. 実験設定

本研究では、Bryan and Fritsch (2002) により開発された非静力学モデル、Cloud Model 1, release 19 (CM1) を利用した。CM1 は 2 次元や 3 次元計算の他、軸対称台風モデルとして利用できる。本実験では、台風の軸対称性が顕著になる発達期と成熟期に焦点を当てるため、CM1 を軸対称モデルとして利用した。軸対称モデルとすることで、計算コストを軽減でき、多数の感度実験が可能となる。モデル解像度は水平方向を 1 km、鉛直方向を 250 m とし、モデル外端を 1500 km、上端を 25 km に設定した。初期渦の最大風速半径は 100 km、最大風速は 12 ms^{-1} とした。雲物理過程は Kessler の暖かい雨のスキームを、放射過程はニュートン冷却 (2K day^{-1}) を採用した。コリオリパラメータは $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ としている。

標準実験 (CTL) の初期・境界条件には JRA55 を利用し、伊勢湾台風の急発達開始時 (1959/09/22 UTC) の環境場を、台風を取り囲む 10° 四方の領域で平均して水平一様に与えた。感度実験用の入力には以下の手順で作成した。

- 1) CTL の温度プロファイルから、気温減率が (3K/km) を下回る最下層高度として圏界面高度を、その点の温度を圏界面温度と定義する。
- 2) 圏界面温度が 1K 刻みで変化するように、境界層に対応する高度 (1.5km) から圏界面高度まで

の気温減率に係数を乗じて、異なる安定度のプロファイルを作成する。

3) 2) で作成したプロファイルについて、250m刻みで圏界面高度を増減させる。圏界面高度を上げる場合は、対流圏上端の気温減率を用いて外挿、下げる場合は元のプロファイルから内挿する。

4) 境界層高度以下の気温減率は、境界層内の平均値を一定に与える。

以上の方法で作成した温度プロファイルを図1に示した。なお、それぞれのパラメータは、1979年から2013年の間に発生した台風の発達時に見られた変化の範囲内で設定した。全ての実験について相対湿度の鉛直分布はCTLと統一し、 T_s についても領域平均値(303.5 K)に統一した。積分時間は250時間とした。以上の条件で、全81通りの数値実験を実施した。

3. 結果

図2に各実験の台風の期間内最大強度 $[V_m]$ を環境パラメータ毎に示した。ここでは、 V_m は6時間平均した高度10 mの接線風速から求めている。圏界面高度の設定に関わらず、 Γ が大きくなるほど顕著に V_m が増加している(図2左)。その増加率の幅は、1 K/kmあたり25.79~32.21 m/sであった。また、 Γ の設定毎に異なるものの、 H_t が上昇する(T_0 が低くなる)ほど V_m は増加する傾向にあり、1kmあたり0.13~2.37 ms^{-1} 増加した。

H_t を変えることで、強度差が生じた原因を調べるため、最盛期より前で、強度がほぼ同じであった時刻の構造を図示した。図3は、標準実験と同じ Γ の設定で H_t を1 km下げた実験(図3左)、 H_t を1 km上げた実験(図3右)、CTL(図3中央)の半径-高度断面図である。横軸は高度2 kmにおける最大風速半径で正規化している。図の右下には、高度10 mにおける最大風速 $[V_{10}]$ を記した。下層の接線風速は、ほぼ同様であるが鉛直構造は異なる。 H_t が上がるにつれ、壁雲に対応する上昇流域が高度方向にのびて上昇流が強まると同時に、圏界面付近のアウトフローが強化している。これは台風の二次循環が強化していることに等しい。したがって、 H_t が上がり対流圏が深まった環境では、より深い対流が生じて二次循環が強化される。それにより下層の角運動量が効率的に内向きに輸送され、後の強化に繋がったと推測できる。

4. まとめ

対流圏の温度構造を特徴付けるパラメータ T_0 , Γ , H_t について台風強度への感度を調べた。この内、 Γ が最大強度の増加に最もインパクトを有していた。 Γ が一定の条件では、 T_0 が低く H_t が上がるほど二次循環が強化され最大強度が増加した。

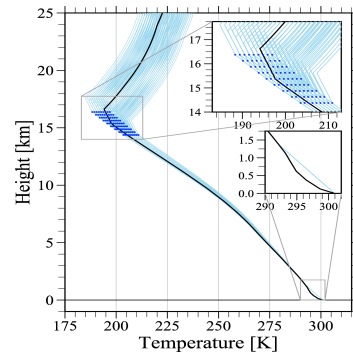


図1: 実験に用いた温度プロファイル。黒線はJRA55を伊勢湾台風の周囲で平均した温度分布。水色線は実験に入力した温度分布。プロットは設定した圏界面高度ならびに圏界面温度。

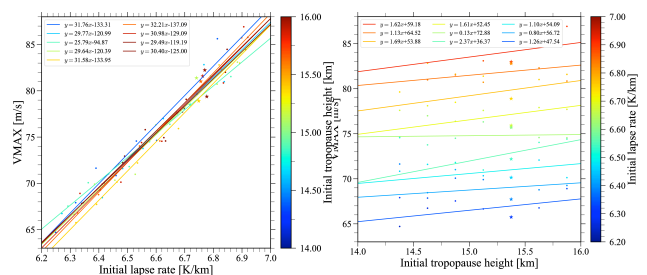


図2: 各パラメータと最大強度との関係。横軸は、気温減率(左)と圏界面高度(右)。縦軸は最大強度。色は圏界面高度(左)と気温減率(右)。

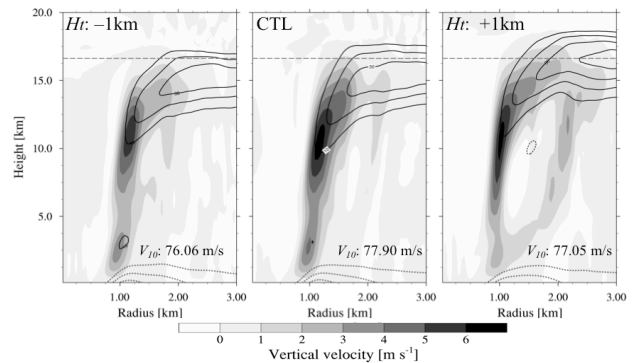


図3: 半径-高度断面図。 H_t を1km下げた実験(左)、CTL(中央)、 H_t を1km上げた実験(右)。横軸は高度2kmの最大風速半径で正規化した半径、縦軸は高度。破線は初期時刻でのCTLの圏界面高度、等値線は動径風速、陰影は鉛直風速。各物理量は時刻 $t=130$ から前後3時間の平均値。図右下に最大風速を示した。