

京コンピューターによる台風全域ラージ・エディ・シミュレーション

*伊藤純至(気象研・東大大気海洋研)、大泉伝(海洋開発研究機構)、新野宏(東大大気海洋研)

1. はじめに

台風の被害域の調査では、局所的な突風による大きな被害がみられる(Wakimoto and Black 1994)。ドップラーレーダーによる観測(Wurman and Winslow 1998 等)によって、台風の高度 1km 以下の地表面付近の大気(台風境界層)中に、水平スケール 1km 程度のロール構造が観測され、局所的な突風との関連が示唆されている。台風の発達や維持に関わる力学の理解のため、理想的な環境場で、雲物理・放射等のプロセスを導入した 3 次元数値気象モデルによる研究は広く行われており、台風に伴う循環を適切に表現するためには台風全域をカバーする水平 2000 km 程度にわたる計算領域を確保する必要がある。しかし、そのような広領域の計算では、台風境界層でみられるようなロール構造の解像はこれまで困難であった。

一方、台風境界層を想定して、ある半径での局所的な直交座標系を用いた LES(Nakanishi and Niino 2011)では、観測で見られたようなロール構造が再現されてはいるが、このような LES では曲率の効果は表現できない。もし台風全体をカバーする計算領域で、ロール状構造を解像する計算が実現できれば、より現実的な台風境界層が再現でき、幅広いスケール間の相互作用や、既存の 1 次元境界層モデルの検証にも利用できる。

本研究では「京」スーパーコンピュータを利用した水平解像度 100m の気象庁非静力学モデル(JMA-NHM, Saito et al. 2006)による大規模計算で、台風全域の Large Eddy Simulation (LES)を実施した。

2. 手法

計算は 10° N の f 面上で、側面 2 重周期境界で行った。下面は海を仮定し、海面水温は一定値で固定する。計算領域サイズは水平 2000 km \times 2000 km \times 鉛直 24km とした。LES 実行時

の水平解像度は 100 m であり、格子数は 20000 \times 20000 \times 60、計算の時間ステップは 0.8 s である。京コンピューターでの計算資源の制約上、台風の発生から成熟に至る数日間にわたる LES の実行は困難であった。そこで予備ランとして、弱い初期渦を与えた初期値から水平解像度 2km(格子数は 1000 \times 1000 \times 60)として、120 時間積分した結果を内挿したものを、LES の初期値とした。

初期擾乱のサイズ (50km と 300km) と海面水温 (300 K と 303 K) の組み合わせが異なる 2 ケースの LES をそれぞれ 10 時間計算した。1 つは、120 時間後に中心気圧 950 hPa まで発達する Moderate tropical cyclone (MTC)、もう 1 つは 920 hPa まで発達する Strong tropical cyclone (STC) である(それぞれ図 1 の実線と破線)。

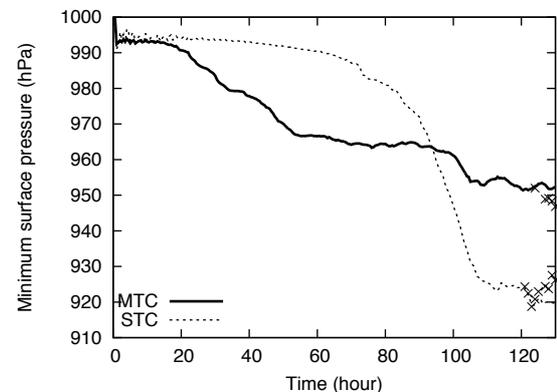


図 1 予備ラン(実線)と LES (十字)における最低気圧の時系列

3. 再現された台風の特徴

図 2 は、LES としての積分開始 10 時間後(予備ラン開始からは 130 時間後)の MTC の計算領域中心付近、水平 200 km \times 200 km の範囲の水物質(雲+雲氷+雨+雪+霰)混合比の 3 次元分布を示している。壁雲やレインバンド、上空の吹き出しなど、台風の特徴的な構造とともに、個々の積雲に相当する小スケールの微細構造が

みられる。図1は積分120時間以降の予備ランとLESの台風強度を比較している(積分開始120時間以後の実線と×印)。水平解像度を2kmから10kmへ向上させることによって、台風の強度は同程度(MTC)かやや弱くなった(STC)。

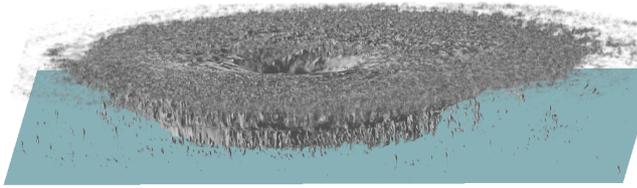


図2 計算領域中心付近の水物質混合比の3次元分布。LES開始10時間後のMTC。

LESの台風境界層内では、ロール構造が顕在化した。最大風速半径(約10km)より外側にみられるもの(タイプAロール、図3a、b)と、最大風速半径よりやや内側付近にのみみられるもの(タイプBロール、図3b)の2種類があった。それぞれの特徴を以下述べる。

4. タイプAロール

タイプAロールの走向は、台風の接線風向とほぼ平行で、水平間隔は1km程度であり、タイプAロールはNakanishi and Niino(2011)等で示唆された変曲点不安定によるものと考えられる。実際に台風境界層内の風速の鉛直分布には、動径風と接線風ともに変曲点が存在した。

5. タイプBロール

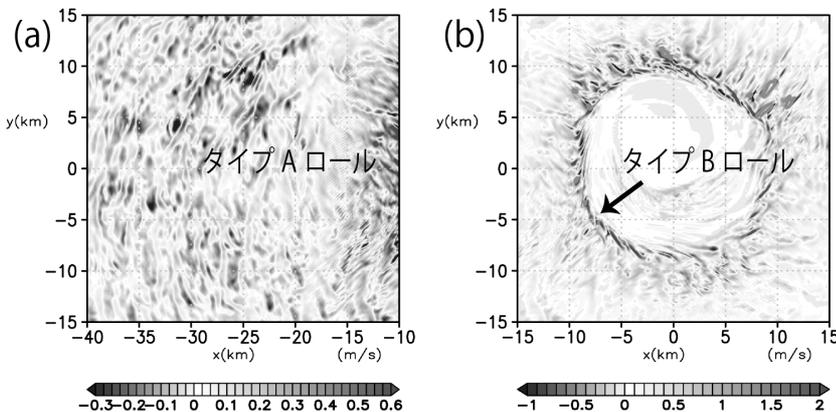


図3: 再現された台風境界層内、高さ27m水平断面での鉛直速度。(a)最大風速半径より外側と(b)最大風速半径付近

タイプBロールの走向は、接線風向よりやや外向きであり、水平間隔は2km程度であった。生成機構はparallel instability(Lilly 1966)と考えられる。これは遠心力が非常に大きい場合のみ生じる不安定である。ロールの走向は水平シア不安定で想定される方向と直交するため、水平シア不安定ではない。実際に乱流運動エネルギー(TKE)のシア生成項は半径10km付近で局所的に負になっており(図4)、むしろ水平シアを強化するような運動量輸送を行っていた。

6. まとめ

台風全域LESを実施した。台風境界層に着目すると、2種類の異なるロール構造の存在が示唆された。タイプBロールは観測では見つからず、古典的なエクマン層の室内実験(Faller 1963)や安定性解析(Foster 2005)でのみ存在が予想されていたが、高解像度の数値モデルで再現された現実的な台風境界層においてもその存在が確認された。

謝辞

本論文の結果は、理化学研究所のスーパーコンピュータ「京」を利用して得られた(課題番号:hp120282)。本研究の実施にあたり、文部科学省のHPCI戦略プログラムの助成を受けた。

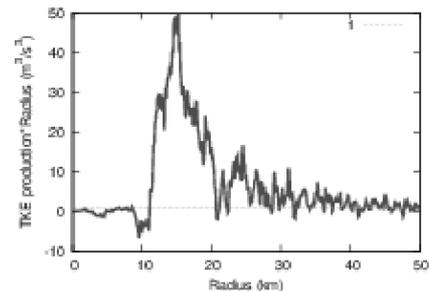


図4: 高さ423mにおいて、方位角方向に平均したTKEのシア生成項の動径分布