

# 台風に伴う竜巻等突風の発生機構

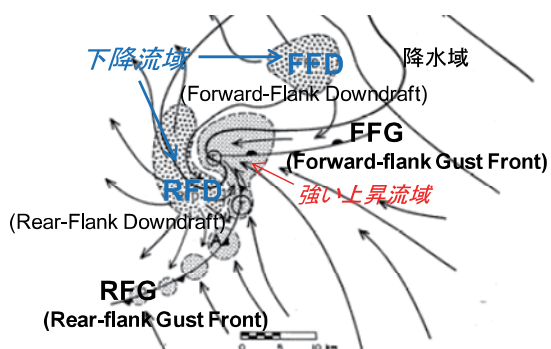
—2006 年台風第 13 号に伴い宮崎県延岡市で発生した竜巻の数値シミュレーション—

○益子涉(予報研究部)、新野宏(東京大学大気海洋研究所)、加藤輝之(数値予報課)

## 1. はじめに

台風による風災害は、発達した台風のコア域における強風だけに限らず、台風の微細構造に伴う突風や地形との相互作用による突風など多様な成因によるものがある。その中でも台風に伴う竜巻は甚大な被害をもたらしながら、その発生機構は未だ十分に理解されていない。特に強い竜巻は雲内にメソサイクロンと呼ばれる大きな鉛直渦度と強い上昇流を持ったスーパーセルという特殊な積乱雲に伴って発生することが多い。これまでの観測的・理論的研究から、スーパーセル竜巻の発生にはガストフロント後面のRear-Flank Downdraft(RFD)と呼ばれる下降流(第1図)が重要な要因であることが指摘されてきたが(e.g., Markowski 2002)、そのRFDが竜巻発生に果たす役割は現在も未解明である。一方、数値実験によって水平一様な理想化された環境場におけるスーパーセル竜巻の再現も試みられてきたが、提案されている発生機構は観測結果と整合的でない。

本研究では、2006年9月17日、台風第13号のアウトーレインバンド内のスーパーセルにより宮崎県で発生した竜巻について、高解像度数値シミュレーションによる再現に成功し、その発生機構を明らかにした(Mashiko et al. 2009)。講演ではその内容の一部を中心に紹介する。



第1図: スーパーセルの下層の概念図  
(Lemon and Doswell, 1979)

## 2. 2006年台風第13号の接近に伴って発生した竜巻

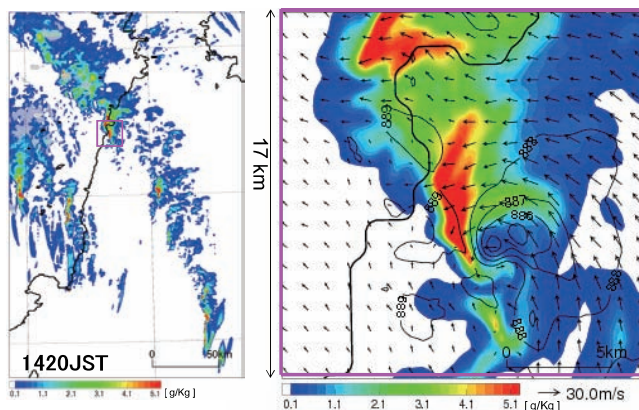
### 2.1. 数値実験の概要

使用したモデルは気象庁非静力学モデルで、水平解像度を5km、1km、250m、50mと4段階に一方方向ネスティングして高

解像度の実験を行った。初期値・境界値の作成には気象庁領域解析を使用した。実際の地形と地表摩擦等の地表面過程が含まれている点も従来の理想化実験と異なる点である。

### 2.2. 竜巻をもたらした積乱雲の構造と環境場

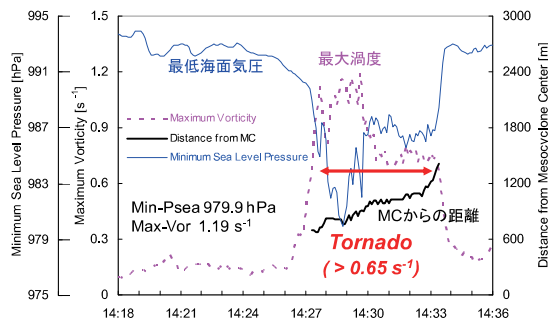
水平解像度250mのモデルで再現された台風のアウトーレインバンド上には水平約30kmの団塊状の降水セルが複数存在し(第2図左)、それぞれの南端にはフック状の降水パターンと低気圧循環をもった低圧部(メソサイクロン)が存在する(第2図右)。このメソサイクロンは $0.07 \text{ s}^{-1}$ 以上の鉛直渦度と $30 \text{ m s}^{-1}$ 以上の強い上昇流域を伴っていた(図略)。しかし、降水セルの背の高度は約5 kmと低く、ミニスーパーセル(e.g., Suzuki et al. 2000)の特徴を有していた。レインバンド付近の環境場の風は、高度が上がるにつれて時計回りに変化し、特に下層2km以下に強い鉛直シアが存在しており、ミニスーパーセルの発生に適していた。



第2図: 再現された高度1kmの降水物質の分布。右図は左図の枠域を拡大したもの。右図のコンターは気圧(2hPa毎)、矢印はメソサイクロンの動きに相対的な風を示す。

### 2.3. 再現されたスーパーセル竜巻

水平解像度50mのモデルでは、14:27過ぎに、急激な気圧低下、鉛直渦度の増大がみられ、下層のメソサイクロン近傍で竜巻(便宜的に $0.65 \text{ s}^{-1}$ 以上の鉛直渦度をもつものとして定義)が発生した(第3図)。気圧偏差でみた竜巻の直径は約500mで、鉛直渦度は最大 $1.19 \text{ s}^{-1}$ に達した。この再現データを用いて、竜巻の発生過程を解析した。

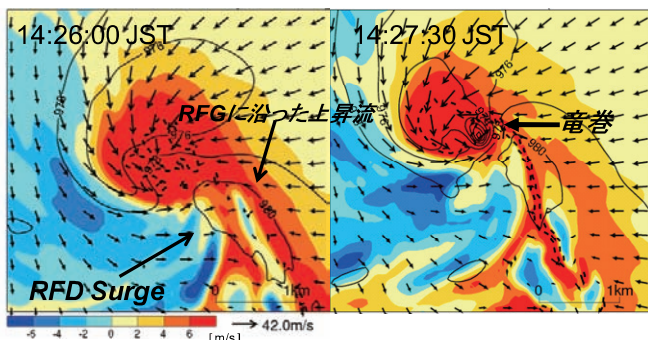


第3図： 最低海面気圧、高度60mの最大鉛直渦度、そしてその最大渦度と下層のメソサイクロン中心との距離の時系列。

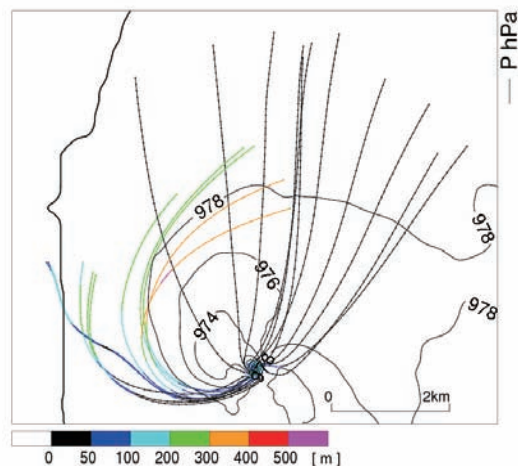
## 2. 4. 竜巻の発生機構

竜巻発生直前の高度150mの鉛直流の分布(第4図左)をみると、メソサイクロン近傍の円形の強い上昇流域から南側に延びる2本のバンド状の上昇流域が存在することが分かる。東側のもはRear-flank Gust Front (RFG)、西側のもはRFD域内に新たに形成されたRFDが特に強化された部分(RFD Surge)から吹き出す外出流の先端に対応する。このRFD Surgeの先端では水平収束が強く、メソサイクロンを取り巻くように進行し、それがRFGに到達した時にその左先端で竜巻が発生した(第4図右)。竜巻発生直後に竜巻渦付近にパーセルを配置して後方トラジェクトリ解析を行うと、パーセルの約半数がRFD起源のものであることが分かった(第5図)。また、竜巻渦に強化される前のRFG上の弱い渦に対するトラジェクトリ解析では、RFD経由のものは見られず、RFD Surgeが竜巻発生のトリガーとなっていることが示された。

そのRFD Surgeは、環境場の鉛直シアに起因する大きな水平渦度を輸送すると共に、水平収束を強化し、水平渦度の立ち上げで生じた鉛直渦度を急速に増大させることにより竜巻を発生させることが分かった。更に、鉛直方向の運動方程式の各項の大きさの解析と感度実験から、竜巻の発生及びこれに大きな影響を与えるRFDの振る舞いには、降水物質の荷重の効果が本質的な役割を果たすことが明らかになった。



第4図： 竜巻発生78秒前(左図)と竜巻発生12秒後(右図)における高度150mの鉛直流(カラーシェード)の分布。実線のコンターは気圧を、破線のコンターは水平収束が $0.07 \text{ s}^{-1}$ の領域を示す。矢印はメソサイクロンの動きに相対的な風を示す。



第5図： 竜巻発生12秒後の竜巻渦に配置したパーセルに対する後方トラジェクトリ解析の結果。高度150mを起点とし、270秒間計算している。色でパーセルの高度を、コンターは起点時刻の高度150mの気圧(2hPa毎)を示す。

## 3. まとめ

2006年台風第13号に伴って発生した竜巻について数値シミュレーションによる再現に成功し、これまで未解明であったスーパーセル竜巻の発生機構を、この事例について明らかにした。今後は、台風及びそれに伴う様々な顕著現象を対象とした解析を行い、予測精度の向上に向けた防災情報の高度化に貢献していきたい。

## 参考文献

- (1) Lemon, L. R. and C. A. Doswell III, 1979: Severe thunderstorm evolution and mesocyclone structure as related to tornadogenesis, *Mon. Wea. Rev.*, **107**, 1184-1197.
- (2) Markowski, P. M. 2002: Hook echoes and rear-flank downdrafts: a review. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 852-876.
- (3) Mashiko, W., H. Niino, and T. Kato, 2009: Numerical simulation of tornadogenesis in an outer rainband mini-supercell of Typhoon Shanshan on 17 September 2006. *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 4238-4260.
- (4) Suzuki, O., H. Niino, H. Ohno, and H. Nirasawa, 2000: Tornado-producing mini supercells associated with Typhoon 9019. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 1868-1882.

※本研究は、重点研究「顕著現象の機構解明に関する解析的・統計的研究(平成21～25年度)」(主任研究者:藤部文昭、研究分担者:清野直子、益子渉、津口裕茂(予報研究部)、猪上華子(気象衛星・観測システム研究部)、青柳暁典(環境・応用気象研究部)、加藤輝之、永戸久喜(数値予報課))および科学技術振興調整費「竜巻等の実態および発生予測(平成19年度)」(代表者:田村幸雄)として行われた。