

# 台風に伴うスーパーセル竜巻の予測可能性について

—2001年8月22日埼玉県羽生市で発生した竜巻の発生環境と親雲の特徴から—

柴田 のり子\*

## 要 旨

2001年8月22日に台風第11号(T0111, PABUK)に伴って埼玉県羽生市で発生したスーパーセル竜巻について、空港気象ドップラーレーダーやウィンドプロファイラのデータを中心に解析を行い、親雲の発生環境・特徴と竜巻の予測可能性について調べた。ウィンドプロファイラのデータから計算した「ストームに相対的なヘリシティ」の推定値はメソサイクロンの発生との対応がよく、関東南部でのスーパーセル発生のパテンシャルを捉えていた。ドップラーレーダーは竜巻発生約45分前からメソサイクロンを観測しており、竜巻が発生したのは、高度2500 m以下の大気下層でメソサイクロンの渦度がピークを過ぎて弱まりつつあるときだった。これらの情報を組み合わせることで、竜巻の発生を予測し、対象となる地域に警戒を呼びかけられる可能性がある。

### 1. はじめに

2001年8月22日3時40分(JST,以下すべて時刻は日本時間)頃、台風第11号の接近に伴って、埼玉県羽生市で突風により住家の一部破損や非住家の全壊等の被害が発生した。この突風は、直後に実施された東京管区気象台ほか(2001)による現地調査では原因の特定には至らなかったものの、その後の詳細な再調査(河野ほか,2002)によって、藤田スケールでF0~F1の竜巻によるものと推定された。また、この報告では、竜巻の発生前からメソサイクロン(以下、MCとする)が観測されており、この竜巻がスーパーセル竜巻であったと結論付けられている。

米国における統計調査では、スーパーセル雷雨のうち、およそ30~50%で竜巻が発生する(Burgess *et al.*, 1993)。日本においては、スーパーセル竜巻の観測事例はまだ多くはないが、1990年9月19日には関東地方で9個のMCが観測され、そのうち3個のMCから竜巻が発生した(Suzuki *et al.*, 2000)。従って、MCの発

生と動向を監視することが、スーパーセル竜巻発生の予測につながると考えられる。

鈴木(2004)は、2002年7月10日に埼玉・群馬県境で発生したスーパーセル竜巻について、ウィンドプロファイラ(以下、WINDASとする)のデータを用いて「ストームに相対的なヘリシティ」の推定値を求めた。その結果、スーパーセルの発生した時間帯に、発生場所に最も近い観測点である熊谷でMC発生の下限値を超えていたことから、この値がスーパーセル発生の指標となる可能性があると報告している。

また、大久保ほか(2003)は、同じ事例についてドップラーレーダーを用いた解析を行い、竜巻が発生したのはMCの渦度がピークを過ぎた時であり、ドップラーレーダーにより竜巻発生を警告できる可能性がある」と指摘している。

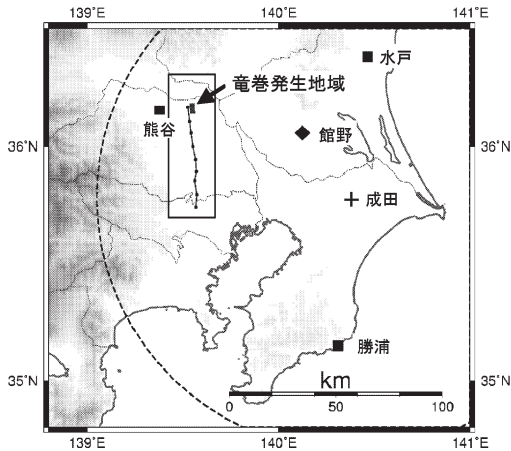
竜巻のような瞬発性強風は住民や住宅等に対する被害だけでなく、航空機の安全運航にも支障を及ぼす。今回の調査では、成田航空地方気象台の空港気象ドップラーレーダーのデータ(ドップラー速度・エコー強度)、水戸・熊谷・勝浦のWINDASのデータ(風向・風速)および館野のレーウィンゾンデのデータ(気圧・気温・相対湿度・ジオポテンシャル高度・風向・風速)を主に使用した(第1図)。本論文では、鈴木(2004)や大久保ほか(2003)と同様の解析も含めて竜巻の親

\* 東京管区気象台技術部気候・調査課(現所属:気象庁予報部予報課)。

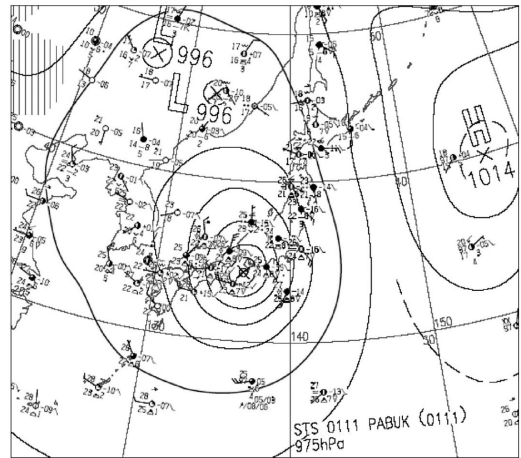
noriko.shibata@met.kishou.go.jp

—2005年2月1日受領—

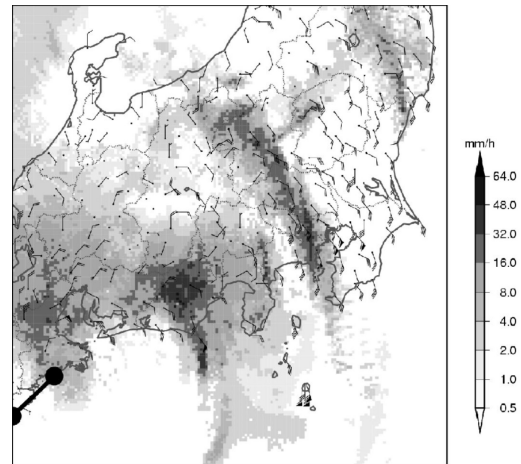
—2006年1月17日受理—



第1図 竜巻発生地域と解析に使用した空港気象ドップラーレーダー(成田：十字), ウィンドプロファイラ(水戸・熊谷・勝浦：正方形), レーウィンゾンデ(館野：菱形)の観測点の位置。円弧はドップラーレーダーの探知範囲, 太実線は竜巻被害地域, 黒点および細実線はMCの経路を示す。経路を囲む四角は第6図・第8図で示す領域に対応している。地形データはUSGSのGTOPO30を使用。



第2図 2001年8月22日3時(JST)の地上天気図。



第3図 2001年8月22日3時(JST)のアメダスによる風とレーダー・アメダス解析雨量の分布図。長い矢羽根は2 m/s, 短い矢羽根は1 m/s, 旗は10 m/s, 丸印および実線は3時の台風の位置と経路。

雲の発生環境とその振舞を調べたのでその結果を報告するとともに、スーパーセル竜巻の予測可能性についても考察する。

なお、スーパーセルとは、一般的に、上昇流の領域に過度  $1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$  以上の回転流を伴う(すなわちMCを持つ)積乱雲であると定義されている(例えば気象庁, 1993)。今回の竜巻の親雲も過度  $1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$  以上のMCを伴っていた。そこで、本調査でもこの定義にもとづき、今回の竜巻がスーパーセル竜巻であると判断した。

## 2. 総観場の状況

第2図は竜巻の発生時刻に近い2001年8月22日3時の地上天気図である。台風第11号は紀伊半島に上陸した後、3時には三重県の南の海上を東北東に進んでいた。竜巻の発生した関東地方には台風に伴うレインバンドが北北西-南南東方向に延びており、地上では南東から南南東の風が卓越していた(第3図)。台風やハリケーンに伴う竜巻は、一般的に台風の進行方向の北東象限(進行方向を  $0^\circ$  とした  $360^\circ$  方位表示で  $0^\circ \sim 90^\circ$ ) で発生しやすいといわれているが(大野, 2001), この竜巻の発生地点は台風の進行方向に対して約  $352^\circ$  にあ

たり、台風を中心からの距離は約340 kmであった。

第1表に館野のレーウィンゾンデのデータから求めた各種指数を示す。大気不安定度を示すショワルターの安定指数 (SSI), 対流有効位置エネルギー (CAPE) のほかに、スーパーセルの発生の指標とされるバルク・リチャードソン数 (以下, BRN とする), 「ストームに相対的なヘリシティ」の推定値 (以下, SReH とする) を求めた。BRN は大久保ほか (2003) と同様に

第1表 館野のレーウィンゾンデから求めたショワルトターの安定指数 (SSI), 対流有効位置エネルギー (CAPE), パルク・リチャードソン数 (BRN), ストームに相対的なヘリシティ (SReH).

指数	21日21時	22日3時
SSI (K)	1.0	-3.0
CAPE (Jkg <sup>-1</sup> )	79	404
BRN	1.4	9.4
SReH (m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> )	121	133

$$BRN = 2CAPE / |\Delta U|^2 \quad (1)$$

( $\Delta U$  は中層と下層の鉛直シア)

として求め, 中層として500 hPa, 下層として925 hPaを用いた. また, SReHは,

$$SReH = - \int_0^h \mathbf{k} \cdot (\mathbf{V} - \mathbf{C}) \times \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial z} dz \quad (2)$$

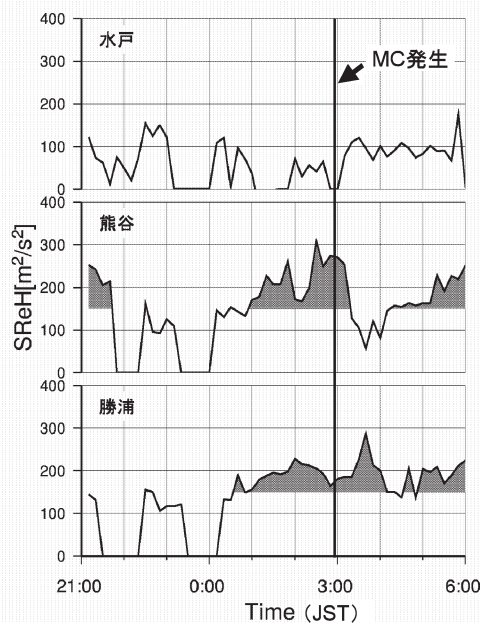
として求めた. ここで,  $\mathbf{k}$  は鉛直方向の単位ベクトル,  $\mathbf{V}$  は環境場の水平風の速度ベクトル,  $\mathbf{C}$  はストームの移動速度ベクトルである.  $h$  は積分区間の深さで, ここでは3 kmを用いた. また, ストームの移動速度ベクトル  $\mathbf{C}$  は, 地上~高度6 kmまでの密度平均した風ベクトルに対して, 右側に5°傾き, 大きさは85%を仮定した. この仮定は, 必ずしもストームが存在するとは限らないために導入したものであり, Suzuki *et al.* (2000) による「平均風よりわずかに右よりに進み, 平均風より遅い」というミニスーパーセルの特徴を参考としている.

竜巻発生時に近い22日3時の値に注目すると, SSIの値は-3.0 Kで, 21日21時に比べて大気の状態が不安定となっている. 1990年に台風第19号に伴って関東地方で9つのミニスーパーセルが発生した事例 (Suzuki *et al.*, 2000, CAPE: 1600 Jkg<sup>-1</sup>, SReH: 310 m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup>, BRN: 10) と比較すると, CAPE (404 Jkg<sup>-1</sup>), SReH (133 m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup>) は小さく, BRN (9.4) は同程度となっていた. 日本でのスーパーセルの観測事例はまだ比較的少ないため, 米国における値を参考にすると, CAPEはハリケーンに伴う竜巻発生時の平均値 (例えば253 Jkg<sup>-1</sup>, McCaul, 1991) と比較してやや大きい. SReHは米国でスーパーセルが発達するための下限とされる150 m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup> (大野, 2001) をやや下回っていた. また, BRNは, 一般的にスーパーセルが発生しやすいとされる10~50 (大野, 2001) のほぼ下限値であった.

### 3. WINDAS を利用した SReH の推移

これまで行われてきた研究 (例えば新野, 2001) で, 日本付近で発生するスーパーセルにおいては, 下層のMCの鉛直渦度のほとんどは環境風の鉛直シアのもつ水平渦度の立ち上げで作られることが分かっている. SReHはこの環境風の鉛直シアの特徴をよく表す指標である. 従来, SReHはレーウィンゾンデのデータを用いて求められることが多かった. しかし, SReHは水平風の鉛直分布とストームの移動速度で求まるため, 全国31か所に観測地点があり, 10分値が配信されるWINDASのデータを利用することでレーウィンゾンデに比べて時間的・空間的に密な値が求められる. ここでは鈴木(2004)と同様に, SReHの推移とMCの発生との対応を調べた. SReHの求め方はWINDASのデータを用いるほかは2節で述べた方法と同じである. なお, スーパーセル発生の下限値としては, 日本での観測事例が少ないため, 米国での値 (150 m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup>) をここでは用いる.

第4図は, 水戸, 熊谷, 勝浦のWINDASデータを用いて計算した, 21日21時~22日6時のSReHの時間変化である. 勝浦では0時30分過ぎから, 熊谷では1時頃からスーパーセル発生の下限値 (150 m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup>) を上



第4図 WINDASデータから求めたSReHの時間変化. ハッチの領域はスーパーセル発生の目安とされる150 m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup>を超えている.

回っており、2時30分に熊谷では $300 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ に達している。MCは2時55分頃、東京・埼玉県境付近で最初に検出された(4節)。MC検出地点から最も遠い水戸のデータはほぼ常時下限値を下回っていた。

第5図は、熊谷、勝浦のWINDASデータから計算した22日0時～5時のSReHを、2時30分を基準時刻としてレインバンドの移動方向・速度をもとに時間-空間変換したものである。レインバンドの移動方向(真北を $0^\circ$ とする)・速度は、熊谷を基準にすると $60^\circ$ 、時速約 $29 \text{ km/h}$ 、勝浦を基準にすると $75^\circ$ 、時速約 $27 \text{ km/h}$ であった。熊谷・勝浦ともにレインバンドの東側に $50 \text{ km}$ 程度離れた領域でもSReHが $150 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ を上回っているが、ピークはレインバンドの東端に位置している。レインバンドの幅の中では中心線より東側で $150 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ より大きく、西側で小さいという特徴が見

られた。

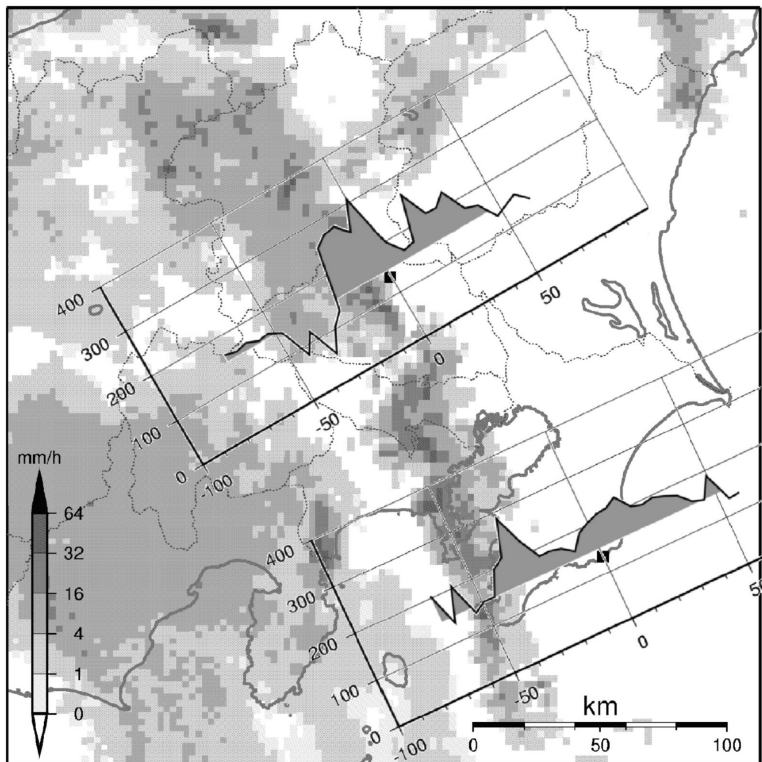
#### 4. ドップラーレーダーで観測したMCの状況

ここでは、成田航空地方気象台のドップラーレーダーの仰角 $0.7^\circ \sim 3.4^\circ$ のデータを使用した。このレーダーの距離方向の分解能は $150 \text{ m}$ 、方位方向の分解能は $0.6^\circ$ である。レーダーサイトからMCまでの距離は約 $70 \sim 110 \text{ km}$ であったので、この付近の高度は仰角 $0.7^\circ$ で約 $1300 \sim 1600 \text{ m}$ 、仰角 $3.4^\circ$ で約 $5600 \sim 6600 \text{ m}$ 、レーダービームに直角な方向の水平分解能と鉛直分解能は距離 $90 \text{ km}$ 付近で約 $0.9 \text{ km}$ である。

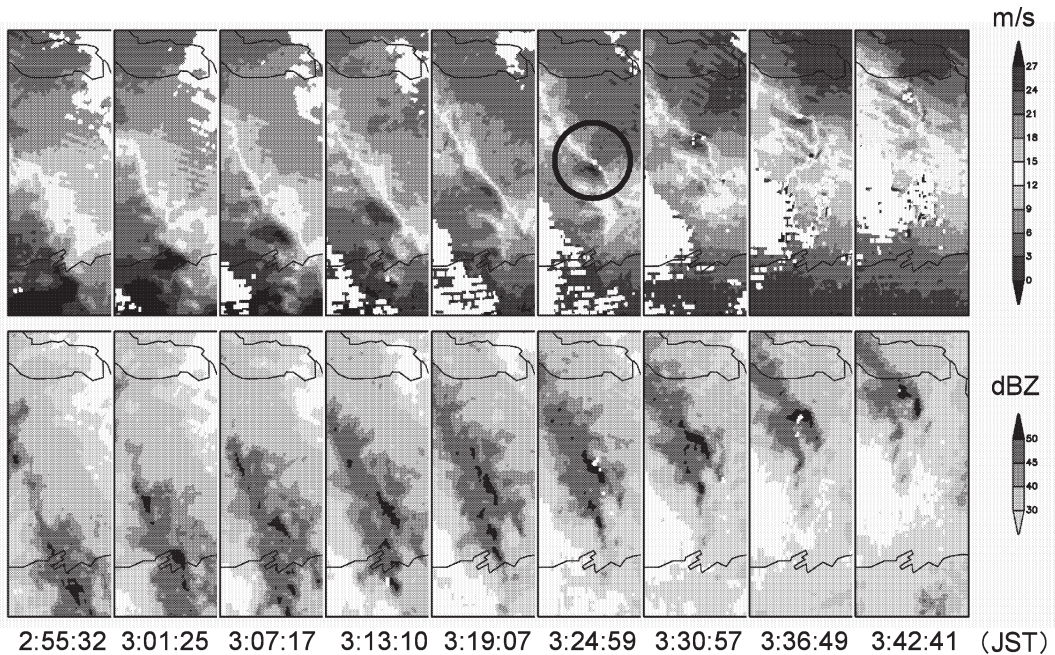
第6図は2時55分～3時42分の仰角 $0.7^\circ$ のドップラー速度及びエコー強度分布である。図中の黒い円で囲んだ部分にドップラー速度の極大・極小のペアがみられ、北へ移動している様子がわかる。これが今回対象とするMCである。

MCは竜巻発生約45分前に発生し、時速約 $60 \text{ km/h}$ で北へ移動した。

このMC付近を拡大したものが、第7図である。ドップラー速度の極大・極小のペアを結ぶ線はドップラーレーダーのビーム方向とほぼ直交している。なお、この時刻のドップラー速度の極大値は $24 \text{ m/s}$ 、極小値は $-1 \text{ m/s}$ である。また、エコー強度の分布では、フック状のエコーや、この例では $40 \text{ dB}$ 以下の領域としてみられる、フック状エコーに囲まれたエコーの弱い領域(Weak Echo Region, 以下WERとする)など、スーパーセルの特徴がみられる。第6図のエコー強度の分布から、このフック状のエコーとWERは3時24分がもっとも明瞭であったが、その前後の時刻でもやや不明瞭ながら



第5図 WINDASデータから求めたSReHと台風のレインバンドとの対応。SReHは2時30分(JST)を基準時刻としてレインバンドの移動方向・速度をもとに時間-空間変換した。グラフの横軸は距離(km)。レインバンドの移動方向・速度は、熊谷では $60^\circ$ 、時速約 $29 \text{ km/h}$ 、勝浦では $75^\circ$ 、時速約 $27 \text{ km/h}$ 。SReHのハッチの領域はスーパーセル発生の目安とされる $150 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ を超えている。レーダーエコーの時刻は2時30分(JST、関東地方合成レーダーによる)。



第6図 MC発生時のドップラー速度(上)およびエコー強度(下)の分布図(仰角0.7°). MCは黒い円で囲んだ部分. ドップラー速度はMCの中心付近を通る12~15 m/sの白抜きの領域を境界として, 右側(東側)の速度が大きい.

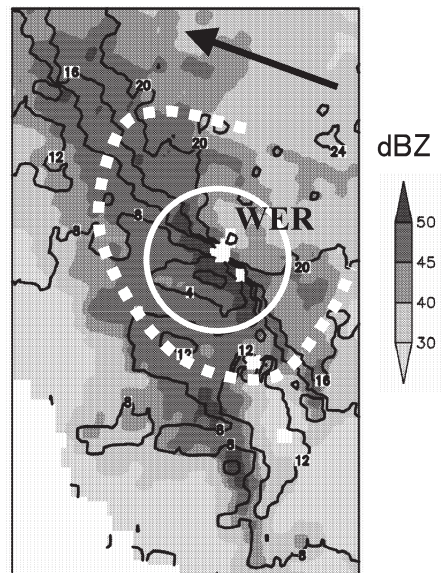
確認することができる.

MC中心の経路, 渦度と竜巻発生地域を図示したものが第8図である. MCの定義はDonaldson(1970)やSuzuki *et al.* (2000)に示されている, ①ドップラー速度分布で極大・極小のペアがあり, 時間的・空間的に連続性がある, ②極大・極小のペアを結ぶ線に直交する線とビーム方向とのなす角が45°未満, ③渦度が $1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上, を採用した. ただし, 限られた仰角のデータを使用していることや, レーダーサイトとMCとの距離が比較的に遠いことを考慮し, 循環が連続的に追跡できた時間帯については渦度が $1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ より小さくても渦度を計算し, MCと同様に扱っている. 渦度( $\xi$ )の求め方はランキンモデルを仮定し, 大久保ほか(2003)と同様に, ドップラー速度分布の極大・極小のペア間の距離( $dL$ )とペア間の速度差( $dV$ )から,

$$\xi = 2(dV/dL) \quad (3)$$

として求めた.

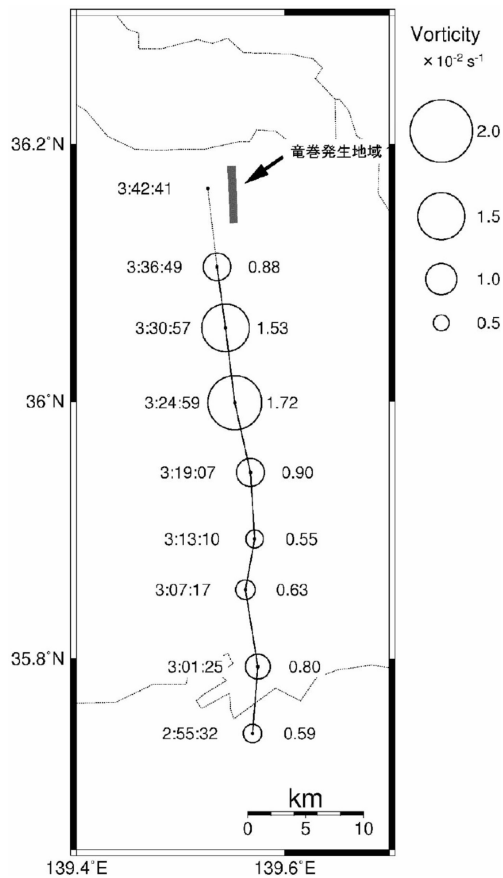
渦度の経過から, 竜巻はMCの渦度がピークを過ぎ, 弱まりつつある段階で発生したことがわかる. こ



第7図 MC付近について拡大した3時24分59秒(JST)のドップラー速度(黒実線: 4 m/sごと)とエコー強度(塗りつぶし等値線). 仰角は0.7°, 矢印はビーム方向. MCは白い円で囲んだ部分. スーパーセルの特徴とされるフック状のエコー(白点線の内側)とフック状のエコーに囲まれたエコーの弱い領域(WER)がみられる.

これは大久保ほか (2003) の解析した結果と一致している。また、MC の直径は竜巻発生時刻に近い 3 時 36 分で約 6 km (仰角  $0.7^\circ$ : 第 9 図参照) であったことから、竜巻は MC の回転の領域内で発生しているといえる。

第 9 図に 2 時 50 分から 4 時 00 分の渦度の時間—高度断面図と、MC の直径の推移を示す。渦度  $1.0 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$  以上の領域がみられる高度 2500 m 以下の下層に着目する。3 時 10 分過ぎから 3 時 40 分にかけては、第 8 図の仰角  $0.7^\circ$  の平面図とほぼ同様の渦度の推移が高度



第 8 図 ドップラー速度分布から求めた MC の中心位置と渦度の経過 (仰角  $0.7^\circ$ )。竜巻発生地域をハッチ、追跡した MC の中心を黒点、渦度を円、経路を実線で示す。円の大きさは渦度の大きさに対応している。数字は、左が時刻 (JST)、右が渦度である。3 時 36 分から 3 時 42 分を点線で結んでいるのは、3 時 42 分のデータでは、MC の中心はほぼ追跡できたものの、中心付近に欠損があり、渦度が求められなかったためである。

2500 m 付近にかけてみられることが分かる。また、3 時 20 分過ぎから 3 時 35 分頃にかけて渦度  $1.0 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$  以上の領域があり、竜巻発生約 15 分前の 3 時 26 分頃、MC の渦度がもっとも強まっている。また、この時刻では高度約 2300 m 付近と、1400 m 付近に渦度の大きい領域がみられるが、竜巻発生前の 3 時 32 分ころには渦度は最下層で最も大きくなり、高度が高くなるにつれて小さくなっている。その後、竜巻発生時刻の 3 時 40 分頃には、急速に渦度が小さくなり、MC は弱まった。

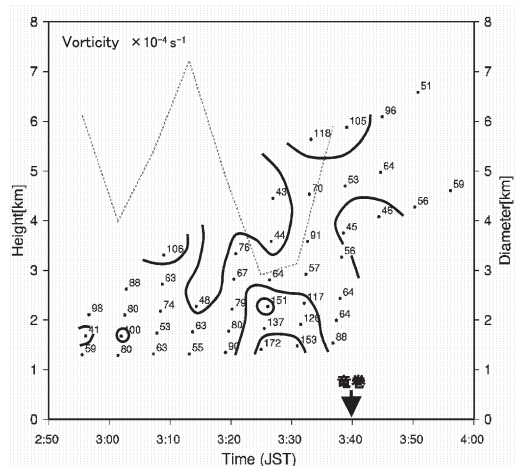
MC の直径は、3 時 13 分頃には約 7 km であったが、3 時 20 分から 30 分過ぎにかけては 3 km 程度となり、高度 2500 m 以下の渦度の大きい時間帯と一致している。竜巻発生時刻の 3 時 40 分頃には MC の直径は約 6 km であった。

一方、渦度  $0.5 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$  以上の領域の存在高度は 3 時 20 分頃には 3500 m 以下だったが、下層で MC の渦度がピークを過ぎた後に急速に高度が高くなり、竜巻発生直前に 5000 m ~ 6000 m に達した。

## 5. スーパーセル竜巻の予測可能性

### 5.1 WINDAS による予測可能性

WINDAS データから求めた SReH は、熊谷と勝浦で MC 発生前にスーパーセル発生の下限値を上回り、水戸では下限値より十分小さかった。このことから、SReH は関東南部でのスーパーセル発生のポテンシャル



第 9 図 ドップラー速度分布から求めた MC の高度と渦度、直径 (直径は仰角  $0.7^\circ$  の値) の推移。数字は渦度、実線は渦度  $50 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  以上の等値線、破線は直径。矢印は竜巻の発生した時刻を示す。

ルを捉えていたと考えることができる。また、計算に用いた関東地方の WINDAS 観測点のうち、MC 発生場所に近い熊谷で MC 発生前に最も SReH の値が高くなっていったことは鈴木 (2004) と同様の結果であり、本事例でも WINDAS データから求めた SReH がスーパーセルの発生と対応がよいことが確認できた。

MC 発生場所に最も近い熊谷だけでなく、勝浦でもしきい値を超える状態が持続していたが、これは、第 5 図に示したように、台風に伴うレインバンドが延びる地域との対応がよい。また、レインバンドの幅の中では、中心線より東側でしきい値を超えており、MC 発生の予測という観点からはこの領域を重点的に監視することが有効と考えられる。

SReH は、その定義から、環境場の風がもつ MC 発生のポテンシャルを示しているに過ぎず、例えば MC の発生位置や発生時刻まで SReH で捉えることは難しいと思われる。また、SReH を求める際のストームの移動速度ベクトルの仮定が適切であるかという問題、さらには、今回しきい値として用いた値は米国での値であり、日本においてそのままの値を利用することへの疑問もあるが、これに関しては今後の事例の蓄積が待たれるところである。

しかし、SReH が台風に伴うレインバンドとの対応がよく、レインバンド内で発生したスーパーセルにより竜巻が発生したことを考えると、レーダーデータ等の他の情報と組み合わせることで、SReH はスーパーセル発生の有効な指標の一つとなることが期待される。

## 5.2 ドップラーレーダーによる予測可能性

本事例では、ドップラーレーダーにより竜巻発生約 45 分前から MC を追跡することができ、大久保ほか (2003) の事例と同様に MC の渦度がピークを過ぎて弱まりつつある時に竜巻が発生した。また、フック状のエコーと WER が竜巻の発生に先行して現れた。これらはドップラーレーダーにより竜巻の発生を予測し警戒を呼びかけることが可能であることを示唆するものである。前者のメカニズムについて、大久保ほか (2003) は、大野 (2001) による、MC が地上 2~3 km から 1 km 付近まで降下した時に竜巻が発生した例の紹介を引用し、MC が解析高度である 1500 m から降下した結果、竜巻が発生したと考えている。本事例では 2500 m 以下の下層において、3 時 26 分頃、高度約 2300 m 付近と 1400 m 付近に渦度の大きな領域があったが、竜巻発生前の 3 時 32 分ころには最下層で渦度がもっと

も大きく、高度が高くなるにつれて渦度が小さくなっていった。このことは MC の渦度のピークが次第に高度を下げていると考えても矛盾しない。なお、竜巻発生直前に、渦度  $0.5 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$  以上の領域の存在高度が高くなる様子がみられた。これは MC 内において、下層からの渦度の伝播による中層の回転の強まりを示唆するとも考えられるが、現時点ではこの高度の変化と竜巻発生の関係は不明である。

なお、4 節で述べたレーダーの分解能の限界から、ドップラー速度場から MC の渦度を求めるために必要なドップラー速度の極大・極小のペアの値およびペア間の距離 (MC の直径) の見積もりには誤差があり、渦度の値そのものはやや過小または過大になっているおそれがある。しかし、これら一連の渦度の変化傾向は、1990 年 12 月 11 日に銚子市に被害をもたらした竜巻に伴う MC の渦度の変化傾向ともよく似ており (気象庁, 1993)、スーパーセル竜巻の発生と関係が深い可能性があるため、今後さらに事例を蓄積して調査する必要がある。

## 5.3 WINDAS とドップラーレーダーを用いた竜巻予測

ここでは、防災上の観点から今回の結果を考察する。WINDAS データを用いてリアルタイムで SReH を計算し、その空間分布および時間変化を把握することができれば、メソ  $\alpha \sim \beta$  スケールの環境場における竜巻発生のポテンシャルを把握することができるとと思われる。このことは竜巻発生の数時間前には各地方~都道府県を対象とした気象情報の中で竜巻に関する注意を呼びかけられる可能性を示唆している。さらに、そのような状況下において MC が発生した場合には、ドップラーレーダーによりこれを追跡し、その振舞を監視することで、親雲の寿命にもよるが竜巻発生 1 時間程度前~直前に MC の経路上となる地域を対象として竜巻のナウキャストを発表できる可能性がある。

## 6. まとめ

2001 年 8 月 22 日に台風第 11 号に伴って埼玉県羽生市で発生したスーパーセル竜巻について、空港気象ドップラーレーダーや WINDAS、レーウィンゾンデのデータを中心に解析を行い、竜巻の親雲の発生環境・動向とその予測可能性について調べ、次の結果が得られた。

### 6.1 環境場から

① レーウィンゾンデから求めた各種指数は 1990 年

に台風第19号に伴って関東地方で9つのミニスーパーセルが発生した事例に比べると、CAPEとSReHは小さく、BRNは同程度であった。

- ② WINDASから求めたSReHは熊谷と勝浦でMC発生前にスーパーセル発生の下限値を上回り、水戸では十分小さく、MC発生地点に近い熊谷で最も高い値となっていた。また、SReHは台風に伴うレインバンドとの対応がよく、レインバンドの中心線より東側でスーパーセル発生の下限値を超えていた。

## 6.2 親雲の特徴から

- ① ドップラーレーダーでは竜巻発生約45分前からMCが観測され、時速約60 km/hで北上した。
- ② エコー強度の分布ではフック状エコーやWERなどスーパーセルの特徴が竜巻発生に先行して認められた。
- ③ MCの渦度は下層(～2500 m)で竜巻発生約15分前に最も大きくなった。竜巻は、MCの渦度がピークを過ぎて弱まりつつあるときに発生した。また、竜巻発生前にMCの渦度のピークが次第に高度を下げる様子が認められた。

## 6.3 台風に伴うスーパーセル竜巻の予測可能性

6.1, 6.2の結果は、WINDASデータから求めたSReHがMCやMCの発生したレインバンドとの対応がよく、スーパーセルが発生するポテンシャルを把握できること、また、ドップラーレーダーによりMCを発見・追跡し、その渦度やエコーの変化を監視することで、スーパーセル竜巻の発生に対して警戒を呼びかけられる可能性があることを示している。

今後の課題として、レインバンドを構成する多数の積乱雲の中で、今回竜巻をもたらしたスーパーセルが何をトリガーとして発生したのかについて、また、竜巻の発生に至るメカニズムについても調査を進めたい。

また、今回の事例と同日の9時10分から9時30分頃にかけて、群馬県大泉町から太田市でも竜巻によるとみられる被害が発生している(岩崎ほか, 2003)。同様の環境下で発生した事例であり、これについても今後さらに研究を進める予定である。

## 謝 辞

空港気象ドップラーレーダーの解析には気象研究所で開発された「Draft」(田中・鈴木, 2000)を使用しました。ドップラーレーダーのデータは成田航空地方

気象台より提供を受けました。気象研究所気象衛星・観測システム研究部の鈴木 修第四研究室長にはドップラーレーダーの解析に関する多くのアドバイスやSReHの計算プログラムをいただきました。気象庁予報部予報課の大久保篤予報官、東京管区気象台技術部気候・調査課の市川 寿調査官には、論文の作成にあたり、多くの有用な助言を頂きました。この場を借りてお礼申し上げます。また、論文の改稿にあたり、貴重なご助言を下された2名の査読者および担当編集委員の方々に深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- Burgess, D. W., R. J. Donaldson, Jr. and P. R. Desrochers, 1993: Tornado Detection and Warning by Radar, The Tornado: Its structure, Dynamics, Prediction, and Hazards, Geophysical Monograph, 79, American Geophysical Union, 203-221.
- Donaldson, R. J., Jr., 1970: Vortex signature recognition by a Doppler radar, J. Appl. Meteor., 9, 661-670.
- 岩崎博之, 小林和名, 勅使河原茜, 2003: 北側の日本瓦屋根に被害が集中した竜巻の事例解析, 天気, 50, 919-923.
- 気象庁, 1993: 平成2(1990)年12月11日千葉県内で発生した竜巻等調査報告, 気象庁技術報告, (113), 92-99, 124-135.
- 河野元治, 村木敏行, 横山刀支雄, 2002: 2001年8月22日埼玉県羽生市に発生したスーパーセル竜巻, 東管技術ニュース, (144), 39-50.
- McCaul, E. W., Jr., 1991: Buoyancy and shear characteristics of hurricane-tornado environments, Mon. Wea. Rev., 119, 1954-1978.
- 新野 宏, 2001: 突風現象を生ずる対流雲の構造と力学, 平成9年度～平成12年度科学研究費補助金基盤研究(B)(2)研究成果報告書, 7.
- 大久保篤, 柴田のり子, 川上正志, 小泉友延, 本田耕平, 2003: ドップラーレーダーがとらえたメソ低気圧の盛衰と竜巻発生の関係—2002年7月10日に群馬・埼玉県境付近で発生した竜巻—, 気象庁研究時報, 55, 153-160.
- 大野久雄, 2001: 雷雨とメソ気象, 東京堂出版, 309pp.
- 鈴木 修, 2004: 2002年7月10日境町竜巻日の関東地方の気象条件について, 日本気象学会秋季大会講演予稿集, 37.
- Suzuki, O., H. Niino, H. Ohno and H. Nirasawa, 2000: Tornado-producing mini supercells associated with Typhoon 9019, Mon. Wea. Rev., 128, 1868-



1882.  
田中恵信, 鈴木 修, 2000: レーダー解析ソフト“Draft”  
の開発, 日本気象学会春季大会講演予稿集, 303.  
東京管区気象台, 熊谷地方気象台, 前橋地方気象台,
- 2001: 平成13年8月22日に発生した突風による風害に  
ついて, 現地災害調査速報, [http://www.tokyo-jma.  
go.jp/sub\\_index/bosai/disaster/siryou/20010822.  
pdf](http://www.tokyo-jma.go.jp/sub_index/bosai/disaster/siryou/20010822.pdf) (2006年1月17日現在).

---

Predictability of Tornado-Producing Supercell Associated with Typhoon  
—Environments and Characteristics of the Parent Storm of the Tornado  
in Hanyu City, Saitama Prefecture on 22 August 2001—

Noriko SHIBATA\*

\* *Technical Department Climate and Weather Research Division, Tokyo District Meteorological Observatory,  
(Present affiliation : Forecast Division Forecast Department, Japan Meteorological Agency,  
Chiyoda-ku, 100-8122, Japan).*

(Received 1 February 2005 ; Accepted 17 January 2006)

---