

## 第18回メソ気象研究会の報告\*

## 1. はじめに

新野 宏 (東京大学海洋研究所)

2001年度秋季大会前日の10月9日、名古屋大学共同教育研究施設2号館において、80名の参加者をえて、標記研究会が行われた。今回のテーマは「竜巻とスーパーセル」である。

竜巻とスーパーセルは米国では防災上重要な大気現象の1つであるが、わが国では豪雨等に比べるとその重要度は低い。しかしながら、比較的解明の進んだ対流圏の諸現象の中にあつて、竜巻の構造と発生機構は気象学的には未だ不明の点の多い興味深い課題である。

2年前の1999年9月24日、台風18号が西日本を北東に縦断中に、愛知県では4個の竜巻が発生し、負傷者431名、家屋の全壊40棟、半壊298棟という大きな被害を生じた。ほんの2時間のうちに同一県内に複数の竜巻が発生し、豊橋市では中学校が襲われて多くの負傷者を出したことから、地元では大変深刻に受け止められ、豊橋市では今後、竜巻発生の際にはサイレンで知らせる竜巻警報が出されることになったという。

台風に伴うスーパーセルや竜巻に関しては、古くから統計的研究や事例研究 (Novlan and Gray, 1974; 小元, 1982; McCaul, 1987, 1993) があるが、ドップラーレーダーや数値モデルを用いた解析が始まったのは比較的最近である (McCaul, 1987, 1991; 坪木ほか, 2000; Niino and Noda, 2000; Suzuki *et al.*, 2000; Noda and Niino, 2001)。今回、中部支部担当の秋季大会を迎えるに当たり、本研究会では地元の関心が深い「竜巻とスーパーセル」をテーマとしてとりあげ、上記1999年9月24日の事例に関する現地調査、ドップラーレーダー観測、数値モデルによる最近の研究結果

を成田 修、吉野 純、坪木和久の3氏にお話しいただいた。

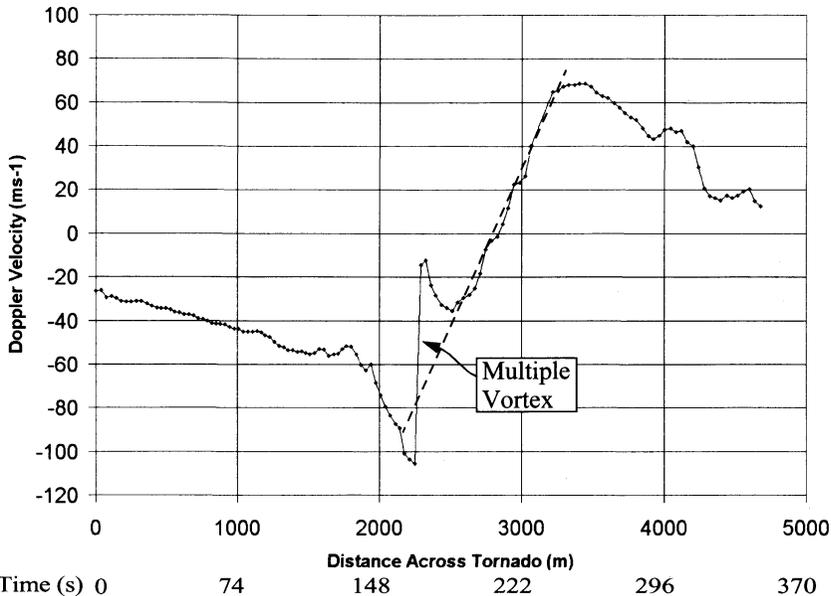
竜巻とスーパーセルの研究課題は数多くあるが、特に興味深いものを挙げると以下ようになる。第1は竜巻の構造である。竜巻は非定常、非軸対称であり、絶えず移動する。従来は映画 (Hoecker, 1960) や室内実験 (Church *et al.*, 1979) により、渦の定常性や軸対称性を仮定してその風速分布が推定されてきたが、最近車載型のドップラーレーダーが開発され、竜巻内の風速分布がリアルタイムで測定可能になってきた (Wurman *et al.*, 1996; Wurman and Gill, 2000; Bluestein and Pazmany, 2000)。今回、オクラホマ大学の Joshua Wurman 博士に、多重渦の竜巻を含む竜巻の風速分布に関する最新の観測結果についての特別講演をお願いしたところ、テロが心配される中をも顧みず来日し、非常に興味深いお話を下さった。

第2は竜巻の発生機構である。竜巻の発生機構にはスーパーセルと呼ばれる特殊な積乱雲 (Browning, 1964) によるものと、スーパーセルによらないもの (Wakimoto and Wilson, 1989) がある。後者についてはある程度理解が進んでいる (例えば Lee and Wilhelmson, 1997) が、前者については数値実験 (Rotunno and Klemp, 1985; Wicker and Wilhelmson, 1995) と1994/95に行われた竜巻の渦度源に関する観測 (VORTEX; Verification of Origins of Rotation in Tornado EXperiment (Rasmussen *et al.*, 1994)) の結果が必ずしも整合的とは言えず、その理解は未だ不十分である。

第3はスーパーセルの多様性の理解である。近年、スーパーセルにはHPスーパーセル (High-Precipitation supercell; Moller *et al.*, 1990)、LPスーパーセル (Low-Precipitation supercell; Bluestein and Parks, 1983)、小型スーパーセル (Mini-supercell; McCaul, 1987; Suzuki *et al.*, 2000) 等の多様な形態があることが知られるようになり、Browning (1964)

\* Report on the Eighteenth Meeting on Mesoscale Meteorology.

© 2002 日本気象学会



第1図 1999年5月3日のオクラホマ州マルホルの竜巻の中心を通る面内のドップラー速度の分布. 横軸は中心を通るビームに直交方向の距離(m), 縦軸のドップラー速度は正(負)がドップラー・レーダーに近づく方向. 竜巻中心は2700m付近にあると思われる.

の概念モデルにあてはまるものは古典的スーパーセル(Classic supercell)と呼ばれるようになった. これらの多様な形態が環境場にどのように依存しているかは興味深い. 小型スーパーセルと古典的スーパーセルにおける鉛直渦度の生成過程の違いに関連して, 数値モデルにもとづく詳細な解析結果を野田 暁さんにお話しいただいた.

最後に, 冬季の日本海沿岸は海上竜巻の発生頻度が高いことが知られている. 小林文明さんには, 雪雲に伴う竜巻の最新の観測結果についてお話いただいた.

研究会の開催に当たり, 会場等の準備は名古屋大学地球水循環研究センターの上田 博・坪木和久両先生を始めとするスタッフ・大学院生の皆様に全面的におすがりした. また, Joshua Wurman 博士の招聘経費は坪木和久先生, 研究会の開催に関わる経費は日本気象学会の補助によった. この場を借りて, 御礼申し上げる.

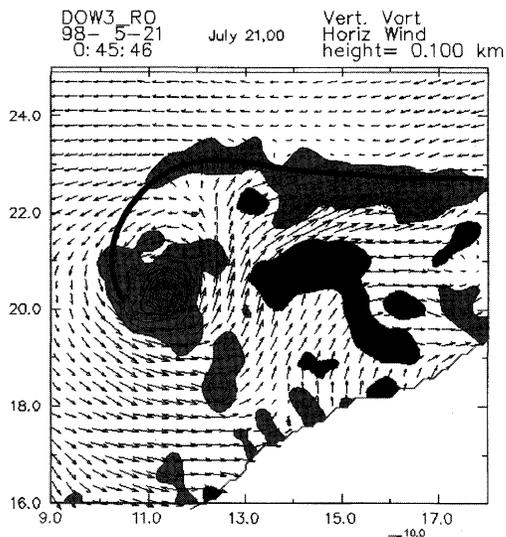
## 2. 車搭載型ドップラーレーダーを用いた竜巻の風速分布のデュアル解析

ジョシュア・ワーマン (オクラホマ大学気象学教室)  
竜巻の構造や風速分布の研究は, 従来から様々な方

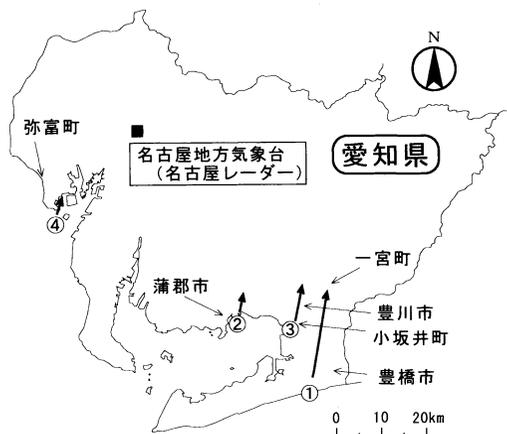
法で行われてきた. 被害状況から風速を推定する藤田スケールは広く使われているが, 建物等の無い場所で風速を推定することは難しい. 竜巻の通り道に測器を展開する努力は, なかなか測器の上を通過してくれる幸運には恵まれない. アメリカ国土を広く覆うドップラーレーダー網も, 距離によるビームの広がりのため竜巻の内部構造を捉える可能性は非常に低い. そこで, これらの問題に打ち勝つために開発したのが, 車載型ドップラーレーダー (DOW: Doppler On Wheels) である.

DOW は0.93度のビーム幅と毎秒60度のスキャン性能を持ち, トラックに搭載したまま測定できるので機動性に富んでいる. 通常竜巻から2 km程度の距離まで近づいて観測する. 1995年6月3日のテキサス州デミットの竜巻では, 70 m/s近い風が測定されると共に, 中心付近に下降流があることが確認された (Wurman *et al.*, 1996; Wurman and Gill, 2000). 1995年5月31日のカンサス州ローラの竜巻や6月8日のテキサス州ケラーヴィルの竜巻では, 一見軸対称に見える竜巻の中に, 複数の風速のピークが見られる不思議な現象も見つかっている.

1998年5月30~31日のサウス・ダコタ州スペンサー



第2図 デュアル・ドップラー解析で求めた1998年5月21日の竜巻に伴う高度100 mの水平風ベクトルと鉛直渦度の等値線 ( $10 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ 毎). 影は  $\pm 10 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ 以上の領域につけてある. 鉛直渦度の最大値は  $0.113 \text{s}^{-1}$ , 最小値は  $-0.047 \text{s}^{-1}$ . 欄外の矢印は  $10 \text{ m/s}$  を表す.



第3図 1999年9月24日に愛知県で発生した4つの竜巻の経路と移動方向.

の竜巻では1.7 kmの距離から分解能約30 mの観測を行い、多重渦の徴候を捉えた。観測された最大風速は118 m/sであった。更に、1999年5月3日のオクラホマ州マルホールの竜巻では、直径が1.3 km近い大きなコアの周辺に明瞭な多重渦が最大10個まで観測された(第1図)(註：講演では多重渦に伴うドップラー速度の見事なPPIカラー画像が示されたが、白黒では判別不能のため割愛)。個々の多重渦の直径は200-300 mであり、その移動速度は親渦の回転速度の0.5~1.0倍、その最大風速は親渦の最大回転速度の1.5倍程度であった。これらの渦は、親渦のコアの外縁、中心の下降流と上昇流との境目付近に存在した。これらの特徴は、室内実験(Church *et al.*, 1979)で観測される多重渦の特徴とよく似ている。多重渦に伴う風速は地表面近くで最大で、その半径は高度と共に大きくなっていった。

次に、1997年5月27日及び1998年5月21日の竜巻の際、2台のドップラーレーダーで竜巻周辺の速度場を求めた結果を紹介した。前者では、前方と後方のガストフロントの交わる「閉塞点」付近に新たな鉛直渦度が発生する「周期的な竜巻の発生現象」(Burgess *et*

*al.*, 1982参照)の過程が観測された。一方、後者の事例(第2図)で鉛直軸周りの循環を見積もったところ、従来の数値モデル(Wicker and Wilhelmson, 1995)で得られたのと似た値が得られた。鉛直渦度の生成に寄与する引き伸ばし項と傾け項の大きさを見積もる詳しい解析も行いつつある。

これらの観測から、竜巻の発生を捉えるには更に高速の空間走査が可能なDOWが必要なことがわかってきた。そこで、2002年の試験を目指して、Rapid-DOWの開発を行っている。Rapid-DOWは少しずつ異なる仰角で異なる周波数の電波を射出するアンテナを鉛直方向に複数台並べたアレイ型アンテナを有し、周方向の走査は通常レーダーと同様に行う。多仰角を一度に測れるため、短い時間間隔での空間走査が可能となる。このレーダーは、現在開発されつつある水平走査のphased array radarよりも安価で、近い将来、竜巻観測の切り札となることを期待している。

(文責：新野 宏)

### 3. 1999年9月24日に愛知県で発生した竜巻

成田 修(東京管区気象台観測課)

#### 3.1 竜巻の概要

1999年9月24日、台風第18号の接近に伴い愛知県内では竜巻が発生し大きな被害をもたらした。名古屋地方気象台では直ちに現地調査を行い、4個の竜巻が、11時~13時の約2時間に愛知県豊橋市、蒲郡市、宝飯郡小坂井町、海部郡弥富町で相次いで発生していたことを確認した(第3図)。4個の竜巻はすべて、海岸付

近で発生し、北北東へ進んだ。最大の竜巻は豊橋市で発生したもので、移動距離は約19 km、被害の最大幅は550 mであった。規模は、戦後最大級と言われる1990年12月の千葉県茂原市の竜巻に匹敵し、藤田スケールのF3であった。

### 3.2 気象状況

24日09時、台風は山口市付近にあり50 km/hの速さで北北東に進んでいた。中心気圧は960 hPa、中心付近の最大風速は40 m/sであった。愛知県内は、地上で東南東～南東の風が卓越しており、風速は5～10 m/sであった。

この台風に伴うアウターバンドは、24日09時の時点で紀伊半島沖から三重県にかかり、北北東に35 km/hの速さで移動していた。このアウターバンドは11時から13時頃にかけて愛知県東部に達し、豊橋市、蒲郡市、小坂井町で竜巻を発生させた。また、これより台風の中心に近い内側のアウターバンドは、24日09時の時点で、日本の南海上から紀伊水道付近にかかり、北東に50 km/hの速さで移動していた。12時頃には愛知県西部に達し、弥富町で竜巻を発生させた。

### 3.3 レーダーエコーによる解析

名古屋レーダーの観測結果から、豊橋市で竜巻を発生させた積乱雲のエコーの特徴をみると、この積乱雲は10時07分（竜巻発生約1時間前）の時点では、知多半島先端付近から南南東方向（豊橋の南方海上）へと並んだ発達した多重セルタイプの積乱雲列の1つであった。このセルが陸上に近づくにつれさらに発達し、ミニチュアスーパーセルの構造を持つ積乱雲へと変化した。

### 3.4 地上気象観測データによる解析

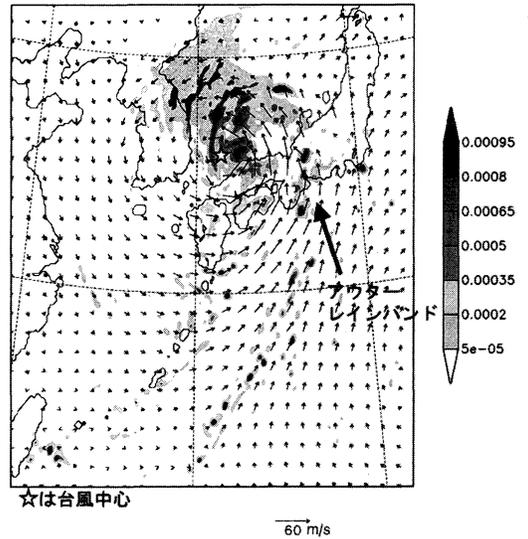
豊川消防本部の地上気象観測データから、豊橋市及び小坂井町で発生した竜巻の親雲となった積乱雲に伴う低気圧の存在が明らかになった。その半径は、気圧低下の継続時間や積乱雲の移動速度、気圧観測点との距離などから、それぞれおよそ7 kmと5 kmと推定された。

### 3.5 発生原因の考察

今回の竜巻はすべて海岸線付近で発生した。この要因として南海上と地上での下層風の違이에着目した。

愛知県の南海上では南よりの強風が卓越していたのに対し、海岸線付近からは風向を南東に変え、風速も弱めていた。こうした風の変化が、下層での収束域を作り出すとともに鉛直シアを強め、竜巻を発生させた積乱雲の発生過程に重要な役割を果たしたと考えた。

### Rain water mixing ratio at 1000m surface



第4図 水平格子間隔9 kmの再現実験で得られた、竜巻発生時刻における高度1 kmの降水粒子混合比(kg/kg)の分布と風ベクトル。

### 3.6 過去の記録

今回、愛知県では短い時間に4個の竜巻が次々に発生したが、過去の記録の中にも今回と同様、4個の竜巻がほぼ同時に発生した事例がある(1903年7月)。この事例も今回同様に台風の接近に伴うものであった。

### 4. 台風9918号のアウターレインバンド内で発生した竜巻について

吉野 純 (京都大学防災研究所)

台風やハリケーン等の熱帯低気圧に伴い、竜巻が頻発することが知られている。日本で発生する竜巻の約2割が台風に伴うものであり(Niino *et al.*, 1997)、台風中心の北東側象限で発生しやすく(光田編, 1983; 小元, 1982)、地理的には太平洋沿岸地域にその被害が集中している(林ほか, 1994)。一般的に、台風の北東側象限においては対流圏下層で鉛直シアやヘリシティーが大きい。逆に、静的安定度を示すCAPEは小さく、Great Plainsで生じる竜巻とは発生環境が大きく異なっている(McCaul, 1991)。台風9918号に伴う竜巻も、台風中心の東側象限で発生し、太平洋に面した愛知県豊橋市に大きな被害をもたらした。本講演では、この事例に関して、非静力学平衡領域予報モデルPSU/NCAR MM5を用いて、台風スケールから竜巻の

もとなるメソサイクロンのスケールまでの再現実験を行った結果を報告し、この竜巻の発生環境に関する議論を行った。

台風スケールの数値実験(水平格子間隔9 km)により、台風中心の東側に南北に伸びるアウターレインバンドが、竜巻発生時刻に愛知県を通過する様子を再現することに成功した(第4図)。この結果は、気象庁レーダーやGMS-IR1と矛盾しない。このアウターレインバンド通過時にその周辺場の構造を詳細に解析した結果、台風の強い水平循環は、中心の西側にあった低相当温位の空気塊を南側から東側に巻き込んでおり、アウターレインバンドはこれによって形成された前線の暖域側に位置していた。また、ストームの移動に相対的なヘリシティを計算したところ、台風近傍の北東側象限で特に大きく、中心から遠く離れた愛知県でもある程度大きい値を示していた。一方、CAPEは台風の近辺では小さく、逆に、台風から離れたアウターレインバンド近辺で特に大きい値(約2000 J/kg)を示していた。更に、スーパーセルストームの予報の指標として近年よく用いられる vorticity generation parameter (鉛直シアと  $(CAPE)^{1/2}$  の積) を計算したところ、 $0.5 \text{ m/s}^2$  を超える領域がピンポイントで愛知県近辺に現れて、渦度傾向方程式中の傾斜項により鉛直渦度が生成されやすい環境にあったことが示された。

水平格子間隔9 km による数値実験データを1方向ネスティングし、愛知県近辺において水平格子間隔1.5 km の数値実験を行った。この数値実験で再現されたメソサイクロンは、気象庁レーダーエコーと極めて似たライフサイクルを辿った。このメソサイクロンは愛知県に上陸した後に、急激に上昇流と正渦度を強めて発達した。最発達時における対流圏下層での渦度収支を調べたところ、傾斜項と収束項は共にメソサイクロンの正渦度を強めるように寄与しており、中でも特に収束項の寄与が顕著であった。対流圏下層での気流場を見ると、愛知県の北東側に連なる日本アルプス山系が障壁となることで、台風による南風が西向きに大きく曲げられて減速し、低風速域が形成されていた。アウターレインバンドは顕著な下層ジェットを伴っていたが、この下層ジェットが上述の低風速域にぶつかることで強い水平収束線が生じていた。この水平収束線の上空をメソサイクロンが通過した時に、対流圏下層で正渦度が急発達したものと考えられる。メソサイクロンの通過に先行する降雨が対流圏下層において蒸発し、下層大気を冷却することにより強い安定成層を

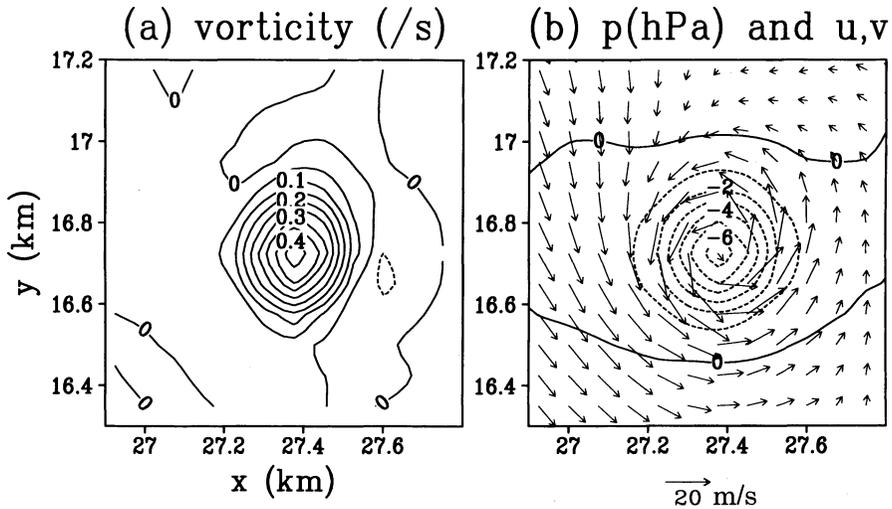
形成し、山岳による風上ブロッキング(低風速域)が生じやすい状況にあったと推測される。

#### 5. 1999年9月24日の東海地方の竜巻をもたらしたメソサイクロンのドップラーレーダー観測と竜巻のシミュレーション実験

坪木和久(名古屋大学地球水循環研究センター)

1999年9月24日、台風9918号の最外縁部の雲帯が東海地方にあったとき、豊橋市、蒲郡市、豊川市で竜巻が発生した。そのうち豊橋市のものは非常に強い竜巻で、大きな被害が出た。ビデオ画像から豊橋と豊川の竜巻は共に反時計回りをしていたことがわかった。潮岬の高層観測は、このときの大気の状態が大変不安定で鉛直シアが強く下層がよく湿っていたことを示した。名古屋大学大気水圏科学研究所(現地球水循環研究センター)のドップラーレーダーの観測から豊橋の竜巻の親雲の積乱雲にはフック状エコーやヴォールト構造、強い渦度を持つメソサイクロンがみられ、スーパーセルの特徴を示していることがわかった。竜巻はこのエコーの下で発生し、メソサイクロンとともに移動した。この観測により、竜巻が観測された11 JST から1230 JST の間に東海地方を少なくとも5つのメソサイクロンが通過し、そのうちの3つが竜巻を伴っていたことが確認された。このことはメソサイクロンを発生させるポテンシャルが大気場にあることを示唆した。

このようなスーパーセルを発生させる大気場のポテンシャルを実際に数値モデルを用いたシミュレーション実験により裏付けるために、現在開発を進めている雲解像モデル CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) を用いて数値実験を行った。CReSS は大規模並列計算機で効率よく実行できるように設計されており、その目的は雲スケールからメソスケール現象、特にダウンバーストなどの積乱雲に伴う現象を対象として、それらのシミュレーションを行うことである。その詳細および公開されたソースコードは <http://www.tokyo.rist.or.jp> にある。数値実験は初期値に24日09 JST の潮岬の高層観測を用い、初期擾乱は温度パブルを与えた。水平解像度75 m の格子で行ったシミュレーション実験の結果、竜巻の親となるスーパーセルが形成され、1時間以降に準定常になった。6000秒後ごろから、その中の特に上昇流の強いところに、直径が500 m 以下の渦が形成され、それが時間とともに強化された。これは実際に観測された竜巻に対応し



第5図 CReSSを用いたシミュレーション実験の結果得られた初期から7200秒目の高度500 mの(a) 渦度, (b) 気圧偏差 (hPa) と水平風. 表示した領域はスーパーセルの上昇流の中にできた竜巻に相当する渦付近である.

ていると考えられる(第5図). 図に示した高度500 mでは, 渦度が中心で $0.4 \text{ s}^{-1}$ 以上で, 直径が300~400 mの渦がみられる. 気圧偏差をみると渦のあるところに, 負の気圧偏差があり, 速度場がこの気圧偏差と旋衡風バランスをしていることが分かる. 鉛直断面ではこの渦が高度3 km付近までのびていた. このシミュレーションでは高い水平解像度で広い3次元領域(45×45 km)をとり, 水平スケールが2桁も異なるスーパーセルと竜巻を同時にシミュレーションしたことが新しい点である.

## 6. 降雪雲に伴う竜巻

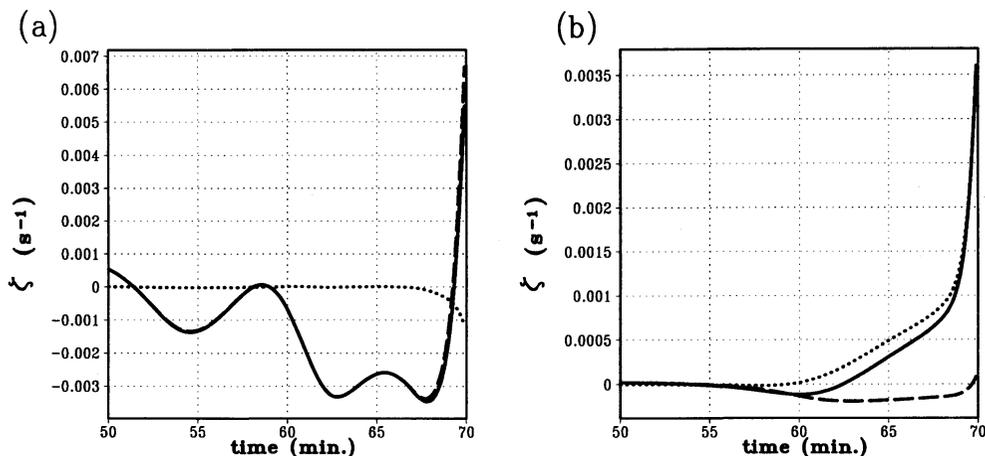
小林文明(防衛大学地球海洋学科)

冬季北陸沿岸で発生する竜巻について, 1) 竜巻の形態, 構造の多様性, 2) 竜巻の発生環境, 3) 竜巻発生場所の地域性について紹介した. 近年, レーダー近傍で発生した竜巻の観測事例(例えば, 1999年12月20日東尋坊竜巻や2001年1月18日三国竜巻)をもとに, その形態を比較すると, 竜巻渦に伴う漏斗雲は幅100 m以上に達し猛烈な風速を伴うものから, 幅20 m~30 m程度で“waterspout”的なものまで存在した. 実際, 地上被害もF0~F3まで幅広く分布していた. 地上被害に関しては, 季節風卓越時の竜巻では進行方向右側の風速が著しく増加することにより, 狭い範囲で直線的な風による痕跡が目立つ冬季特有の被害状況がみら

れた. 一方, 共通点としては, 移動距離は3~5 km程度であり, 寿命も15分未満であった. ドップラーレーダー観測によると, 雲底下の漏斗雲は雲内に存在する直径1 km程度のマイソサイクロン(misocyclone)まで連続しており, 角運動量も保存されていた. さらに, 金沢竜巻(1991年12月11日)のようにメソ低気圧内部に直径10 kmのメソサイクロン(mesocyclone)を伴うような事例も認められた.

竜巻の発生環境について, 近傍で飛揚したゾンデ観測結果から竜巻発生時のCAPEは $100 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 程度と夏季積乱雲発生時と比較すると1桁小さいものの, 寒気侵入時としては相対的に高い値を示した. 風の鉛直シアに関しては, 雲底下で強いシア( $20 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 以上)を有する事例と雲底下の鉛直シアが比較的弱い事例が存在した. 高度1 km以下の水平シア(ドップラー速度場)と対応させると, 強い鉛直シアの事例は水平シアが弱く, 逆に弱い鉛直シアの事例では顕著な水平シアが認められた.

過去50年間に冬季北陸沿岸で発生した竜巻分布をみると, 能登半島, 金沢平野, 東尋坊周辺に集中していた. そこで, 寒気場で発生するメソ擾乱時の落雷密度分布をみると, 海岸線に集中しており, さらに高密度地域もほぼ上記竜巻発生地域と一致していることがわかった. この結果は寒気場内で発達する雷雲は相対的に高いCAPE時であり, 竜巻と落雷は強い上昇流(霰)



第6図 MCへ流入する空気塊のトラジェクトリに沿った鉛直渦度 ( $s^{-1}$ ) の収支. 1990年9月に関東平野に起こったスーパーセルの場合 (a) と, 1977年5月にアメリカ中西部オクラホマ州で起こったスーパーセルの場合 (b). 実線は渦度方程式の全ての項 (傾け項, 引き伸ばし項, 傾圧項) を考慮した場合, 破線は傾圧項を除いた場合, 点線は傾圧項のみの場合.

が形成される点で相関が高いことを示すと考えられる. 換言すると, 冬季北陸地方で発生する竜巻にとっては, メソ擾乱に伴い海岸線で急速に発達する積乱雲が重要であるといえる. また, 特別観測時(WMO-01)に複数の観測サイトで竜巻発生が確認された事実も, 冬季北陸沿岸では想像以上に竜巻発生の環境が整っていることを示唆する.

## 7. スーパーセルの気流構造と鉛直渦度の形成機構

野田 暁 (東京大学海洋研究所)

強い竜巻はスーパーセル (Browning, 1964) と呼ばれる非常に組織化した巨大な雷雲によってもたらされることがわかっている. スーパーセルの内部には水平スケールが数 km, 鉛直渦度  $0.01 s^{-1}$  以上のメソサイクロン (以下, MC) と呼ばれる循環が発生し, 竜巻はこの MC の下層周辺で発生することが多い. この大きな鉛直渦度の形成機構には多くの関心が集められてきた.

アメリカ中西部で強い竜巻を発生させることの多いスーパーセルの下層の MC の鉛直渦度は, 降水粒子の蒸発冷却に伴う大きな水平温度傾度によってストーム内部で水平渦が作り出され, これを鉛直に立ち上げることで生成されるという機構が Rotunno and Klemp (1985) によって提案されている.

一方, 日本においても1990年の千葉県竜巻 (Niino

*et al.*, 1993) や1999年の東海地方の竜巻 (林・石川, 2000; 坪木ほか, 2000) のように, 風速  $50 m/s$  を超える強い竜巻の親雲内にはドップラーレーダーによって MC が観測されており, アメリカ中西部のスーパーセルに近い特徴を持っていたことが確認されている.

アメリカ中西部と日本のスーパーセルは互いに似た特徴を持っているものの, 後者の発生環境は前者に比べて不安定度が小さく湿潤であるなどの違いがある. 湿潤な環境で発生するスーパーセルでは蒸発冷却の効果は小さいと考えられるので, アメリカ中西部のスーパーセルのように強い傾圧場によって形成される水平渦に MC の渦度の起源を求めることができるのか疑問である. そこで本研究では, 1990年に関東平野に発生し竜巻を伴ったスーパーセル (Suzuki *et al.*, 2000) についての数値シミュレーション結果 (新野・坪木, 1997) を用い, MC の渦度の起源に関する解析を行ない, その成因について明らかにした.

最盛期の MC の周りに置いた空気粒子のバックトラジェクトリを計算し, これに沿って渦度の収支解析を行った. その際に傾圧効果による渦度の生成について明確にするために渦度方程式から仮想的に傾圧項を抜いた収支計算も行った. その結果, 傾圧項の有無に関わらず生成された鉛直渦度の大きさには違いが現れず, MC の生成には傾圧効果はほとんど寄与していないことがわかった (第6図 a). 一方, 比較のためにア

メロカ中西部の典型的なスーパーセル (Klemp and Wilhelmson, 1978) についても同様の渦度収支解析を行ったところ、過去の研究で指摘されているように傾圧効果による渦度の生成が非常に重要であるという結果となった(第6図b)。つまり、アメリカ中西部のように乾燥した大気中で発生するスーパーセルのMCの鉛直渦度の形成にはストーム自身が傾圧項を通して作り出す水平渦が重要であるのに対して、湿潤な環境で発生するスーパーセルでは台風や低気圧のような環境の風の大きな鉛直シアによる水平渦度の立ち上げが重要である。このように見かけ上、良く似た特徴を備えているスーパーセルでも、その発生環境の違いによって内部の渦の力学には大きな違いがあることがわかった。

#### 参 考 文 献

- Bluestein, H. B. and C. R. Parks, 1983: A synoptic and photographic climatology of low-precipitation severe thunderstorms in the Southern Plains, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 2034-2046.
- Bluestein, H. B. and A. L. Pazmany, 2000: Observations of tornadoes and other convective phenomena with a mobile, 3-mm wavelength, Doppler radar: The spring 1999 field experiment, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **81**, 2939-2951.
- Browning, K. A., 1964: Airflow and precipitation trajectories within severe local storms which travel to the right of the winds, *J. Atmos. Sci.*, **21**, 634-639.
- Burgess, D. W., V. T. Woods and R. A. Brown, 1982: Mesocyclone evolution statistics, Preprints 12th Conf. on Severe Local Storms, *Amer. Meteor. Soc.*, 422-424.
- Church, C. R., J. T. Snow, G. L. Baker and E. M. Agee, 1979: Characteristics of tornado-like vortices as a function of swirl ratio: A laboratory investigation, *J. Atmos. Sci.*, **36**, 1755-1776.
- 林 泰一, 石川裕彦, 2000: 1999年9月24日, 豊橋市で発生した竜巻, *日本風工学会誌*, (82), 3-6.
- 林 泰一, 光田 寧, 岩田 徹, 1994: 日本における竜巻の統計的性質, *京都大学防災研究所年報*, **37B-1**, 57-66.
- Hoecker, W. H., Jr., 1960: Wind speed and air flow patterns in the Dallas tornado of April 2, 1957, *Mon. Wea. Rev.*, **88**, 167-180.
- Klemp, J. B. and R. B. Wilhelmson, 1978: Simulations of right-and left-moving storms produced through storm splitting, *J. Atmos. Sci.*, **35**, 1097-1110.
- Lee, B. D. and R. B. Wilhelmson, 1997: The numerical simulation of nonsupercell tornadogenesis. Part II: Evolution of a family of tornadoes along a weak outflow boundary, *J. Atmos. Sci.*, **54**, 2387-2415.
- McCaul, E. W., Jr., 1987: Observations of the Hurricane "Danny" tornado outbreak of 16 August 1985, *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1206-1223.
- McCaul, E. W., Jr., 1991: Buoyancy and shear characteristics of hurricane-tornado environments, *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 1954-1978.
- McCaul, E. W., Jr., 1993: Observations and simulations of hurricane-spawned tornadic storms, *Geophys. Monogr.*, **79**, 119-142.
- 光田 寧編, 1983: 竜巻など瞬発性気象災害の実態とその対策に関する研究, 文部省科学研究費補助金研究成果報告書, 124pp.
- Moller, A. R., C. A. Doswell III and R. Przybylinski, 1990: High-precipitation supercells: A conceptual model and documentation, Preprints 16th Conf. on Severe Local Storms, *Amer. Meteor. Soc.*, 52-57.
- 新野 宏, 坪木和久, 1997: 盆栽スーパーセルの数値シミュレーション, 1997年日本気象学会春季大会講演予稿集, (71), A109.
- Niino, H. and A. Noda, 2000: Numerical simulation of a mini-supercell over Kanto plain on 19 September 1990, Preprint 20th Conf. on Severe Local Storms, *Amer. Meteor. Soc.*, 607-610.
- Niino, H., O. Suzuki, H. Nirasawa, T. Fujitani, H. Ohno, I. Takayabu, N. Kinoshita and Y. Ogura, 1993: Tornadoes in Chiba prefecture on 11 December 1990, *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 3001-3018.
- Niino, H., T. Fujitani and N. Watanabe, 1997: A statistical study of tornadoes and waterspouts in Japan from 1961 to 1993, *J. Climate*, **10**, 1730-1752.
- Noda, A. and H. Niino, 2001: Vortex-lines and airflow structure near a tornado-like vortex in a simulated mini-supercell, Preprint 9th Conf. on Mesoscale Processes, *Amer. Meteor. Soc.*, 552-556.
- Novlan, D. J. and W. M. Gray, 1974: Hurricane-spawned tornadoes, *Mon. Wea. Rev.*, **102**, 476-488.
- 小元敬男, 1982: 台風に伴う竜巻について, *天気*, **29**, 967-980.
- Rasmussen, E. N., J. M. Straka, R. Davies-Jones, C. A. Doswell III, F. H. Carr, M. D. Eilts, D. R. MacGorman, 1994: Verification of the Origins of Rotation in Tornadoes Experiment: VORTEX, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **75**, 995-1006.
- Rotunno, R. and J. B. Klemp, 1985: On the rotation

- and propagation of simulated supercell thunderstorms, *J. Atmos. Sci.*, **42**, 271-292.
- Suzuki, O., H. Niino, H. Ohno and H. Nirasawa, 2000: Tornado-producing mini supercells associated with Typhoon 9019, *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 1868-1882.
- 坪木和久, 耿 驃, 武田喬男, 2000: 台風9918号外縁部で発生した1999年9月24日の東海地方の竜巻とメソサイクロン, *天気*, **47**, 777-783.
- Wakimoto, R. M. and J. W. Wilson, 1989: Non-supercell tornadoes, *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 1113-1140.
- Wicker, L. J. and R. B. Wilhelmson, 1995: Simulation and analysis of tornado development and decay within a three-dimensional supercell thunderstorm, *J. Atmos. Sci.*, **52**, 2675-2703.
- Wurman, J. and S. Gill, 2000: Finescale radar observations of the Dimmitt, Texas (2 June 1995), tornado, *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 2135-2164.
- Wurman, J., J. M. Straka and E. N. Rasmussen, 1996: Fine-scale Doppler radar observations of tornadoes, *Science*, **272**, 1774-1777.



## 教官（北海道大学・低温科学研究所）公募

当研究所では教官を公募いたします。

1. 公募人数：寒冷陸域科学部門・教授1名
2. 研究分野：氷河・氷床の動力学に関する理論的研究あるいは雪氷と気候の相互作用に関する理論的研究

当研究所は、寒冷圏および低温条件下における科学現象の基礎と応用の研究を目的とする全国共同利用の研究所であり、その中で当該部門は、地球システムにおける寒冷陸域の役割について地球科学的側面および環境科学的側面から総合的に研究することを目指しています。

なお、教育は、北海道大学大学院地球環境科学研究科・地圏環境科学専攻を担当して頂く予定です。

3. 着任時期：平成15年4月1日以降、なるべく早い時期
4. 提出書類
  - ①履歴書（連絡先、大学入学以降の学歴、研究・教育歴、学位、受賞歴など）
  - ②研究業績リスト（査読制度のある学術誌に発表した原著論文、総説、著書、その他などに分ける）

- ③主要論文別刷あるいはコピー10編以内（リストに印をつける）
- ④国内外の学会等での活動状況（役職や編集委員などの担当歴、会議やシンポジウムの企画など参考になる事項）

- ⑤これまでの研究概要と成果（2,000字程度）
- ⑥着任後の研究計画、研究展望、抱負など（2,000字程度）

5. 公募締切：平成15年1月31日（金）必着

### 6. 情報入手・問い合わせ先

- ①研究所の概要、関連する研究分野のスタッフについては、当研究所のホームページ（<http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/>）をご覧ください。

### ②直接の問い合わせ先

北海道大学低温科学研究所 教授 本堂 武夫  
Tel:011-706-5466, Fax:011-706-7142  
E-mail:hnd@lowtem.hokudai.ac.jp

### 7. 書類提出先

〒060-0819 札幌市北区北19条西8丁目  
北海道大学低温科学研究所長 若土 正曉  
封筒の表に「寒冷陸域科学部門教授応募書類」と朱書し、書留でお送り願います。