

## 論文審査の結果の要旨

氏名 横田 祥

スーパーセルと呼ばれる発達した積乱雲のもとで発生する竜巻はスーパーセル竜巻と称され、観測される強い竜巻の多くはスーパーセル竜巻に分類される。スーパーセル竜巻の発生は、環境場の水平渦度の立ち上げによる中層メソサイクロン(MC)の形成、積乱雲からの下降流で水平渦度が立ち上げられる下層 MC の形成、下層 MC 直下での上向き気圧傾度力による渦強化、の段階を経ると考えられている。しかし、スーパーセル竜巻の観測事例は限定的で、数値シミュレーションの成功事例も少なく、発生過程の理解は不十分である。また、渦の起源に関して環境場の鉛直シア、傾圧効果、摩擦効果の三つの説が提唱されているなど、発生に寄与する物理過程も不明な点が多い。本論文は、スーパーセル竜巻を対象とした世界初の現実竜巻のアンサンブル予報実験について、手法と結果の詳細を記述している。アンサンブル予報の特性を活かした解析により、スーパーセル竜巻の発生条件と渦の起源について新しい知見が得られた。

本論文は全六章とそれを補足する付録からなる。第一章はイントロダクション、第二章は手法の説明、第三章は下層 MC の解析、第四章は竜巻発生の解析、第五章は竜巻発生条件の議論、第六章は結論である。

第二章は、2012年5月6日1240JST頃につくば市を通過した強いスーパーセル竜巻を対象としたアンサンブル予報実験手法を詳述している。局所アンサンブル変換カルマンフィルター(LETKF)と気象庁非静力学モデルを用いたアンサンブル予報を繰り返し行う解析・予報サイクルにより初期値を作成した。水平格子間隔15 kmの親LETKFにより、5月3日0900JSTから6時間サイクルで気象庁現業メソ解析と同様の観測データを同化し、親モデルに埋め込んだ水平格子間隔1.875 kmの子LETKFにより、5月6日0300JSTから1時間サイクルで高密度地上観測データとレーダー観測データを同化した。地上観測データとして、気象庁アメダスの水平風・気温だけでなく、NTTドコモ社環境センサーネットワークの水平風・気温・相対湿度を利用した。また、レーダー観測データとして、気象庁の東京・羽田空港・成田空港の各レーダーと気象研究所の二重偏波レーダー(MACS-POL)の動径風とMACS-POLの反射強度と比偏波間位相差による推定雨量を利用した。続いて、5月6日1100JSTの子LETKF解析を初期値・境界値として水平格子間隔350 mのアンサンブル実験で下層MCの予報実験を行い、さらに、その1110JSTの結果

を初期値・境界値として水平格子間隔 50 m の高解像度アンサンブル実験を行うという、世界でも先例の無い大規模データ同化と高解像度化により、下層 MC と竜巻を現実的に再現するアンサンブル予報実験に成功した。

第三章では、水平格子間隔 350 m のアンサンブル予報実験を解析し、下層 MC の形成について調べた。全てのメンバーで実際の竜巻被害域の近くに下層 MC が予報された。しかし、下層 MC の強さはアンサンブルメンバー間で大きく異なり、感度解析によってスーパーセル前方の下層収束とスーパーセル後方の下層水蒸気が下層 MC の強化に重要であることが分かった。第四章では、水平格子間隔 50 m の高解像度アンサンブル予報実験を解析し、竜巻発生について調べた。33 メンバー中 7 メンバー(21%)で竜巻が発生した。後方流跡線解析によると、メンバー中で最も強い竜巻の起源は摩擦による水平渦度生成であったが、回転の起源はメンバー間で異なっており、傾圧効果や摩擦効果の相対的な重要性は竜巻発生にとって本質的でないことが示された。一方で、強い下層 MC 形成に伴う気圧低下と地表付近の高湿度気塊の凝結による上向き加速が、竜巻発生に本質的に重要なことが分かった。

本研究は、現実のスーパーセルに伴う下層 MC と竜巻を再現するアンサンブル予報実験を世界で初めて行い、その手法の有効性を実証した。その上で、下層 MC の強化にはスーパーセル前方の下層収束と後方の下層水蒸気が、竜巻発生には下層 MC の強度と下層水蒸気が重要であり、データ同化によるこれらの量の修正が竜巻予報の改善に有効であることを明らかにした。一方で、地上渦の起源を解像するような高解像度モデルが竜巻を予報に必須ではないという、実用上重要な示唆を得た。今後、特に下層 MC に注力してアンサンブル予報をさらに改善することで、竜巻予報の高精度化が期待される。

尚、本論文のうち、つくば竜巻の解析の一部は瀬古弘、國井勝、露木義（気象研究所）と三好建正（理化学研究所）との共同研究、LETKF システムの開発は國井勝、青梨和正、折口征二（気象研究所）との共同研究、下層 MC の研究の一部は瀬古弘、國井勝（気象研究所）、山内洋（気象庁）と新野宏（大気海洋研究所）との共同研究として公開されているが、アンサンブル予報実験とデータ解析は論文提出者自身が行い、研究の結論は論文提出者の発想で導かれたもので、論文提出者の研究に対する寄与は十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。