

湿潤な環境場におけるスーパーセルの発達・衰退過程

Development and Dissipation Processes of a Supercell in a Moist Environment

* 清水 慎吾, 上田 博, 茂木 耕作 (名大・地球水循環研究センター),
前坂 剛 (北大院・理), 高谷 美正, 赤枝 健治, 加藤 輝之, 吉崎 正憲 (気象研究所)

1. はじめに

2000年5月24日、羽田空港と成田空港の2台のドップラーレーダーでスーパーセルに非常に良く似た構造を持つストームが観測された。Shimizu et al. (2001) では、デュアル解析と気象研非静力学モデル (MRI-NHM) による数値実験を用いて、このストームの上昇流維持機構を明らかにした。図1は、5月24日に観測されたストームと乾燥地域における古典的なスーパーセル (Browning and Foote, 1976) の概念図である。このストームはオーバーハングした構造と上昇流のコアに伴う強い鉛直渦度を持っていて、古典的なスーパーセルと共通した特徴を持っていたが、融解層以下の下降流が非常に小さいという大きな相違点も見られた。

今回は、このストームの構造の時間変化と環境場の湿度の変化を調べ、スーパーセルの上昇流維持機構と環境場の湿度の関係を明らかにする。

2. 使用データと数値実験の概要

図2は、成田空港と羽田空港における2台のC-bandのドップラーレーダーの位置と観測領域を示す。高層データは、館野の午前9時のsoundingを使用した。地上気象データは、佐倉市と古河市におけるアメダスデータを使用した。

数値実験は格子間隔20 kmの気象庁領域スペクトルモデル (RSM: Regional Spectral Model) とMRI-NHMを用いて行った。格子間隔5 kmのMRI-NHM (5km-NHM) はRSMの出力結果をネストして、さらにその出力結果をネストした格子間隔1 kmのMRI-NHM (1km-NHM) の結果を解析に用いた。

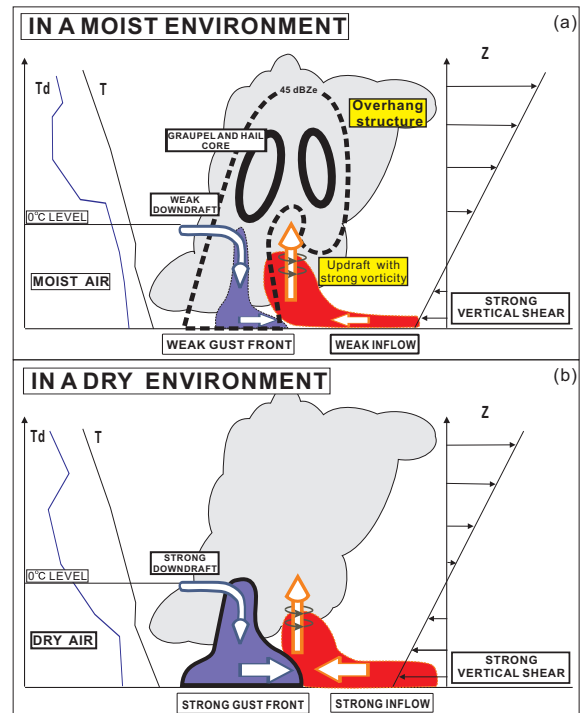


図1 湿潤な環境場で観測されたスーパーセルに似たストーム (上図) と乾燥した環境場における古典的なスーパーセル (下図) の概念図 (Shimizu et al., 2001)。

3. 観測結果

午前9時の総観場の特徴として、本州上空に寒気を伴う気圧の谷があり、今回注目するストームは其中で発生した。館野における午前9時の断熱図を見ると、融解層より上空では、乾燥した層が存在し、それ以下では、非常に湿潤な層があったことがわかる (図3)。

図4は、下層1 kmでの11時18分から13時6分までの反射強度分布と、古河市と佐倉市における地上気温、降水量と風速・風向の時系列を示す。Shimizu et al. (2001) の報告では、このストームの最大の特徴として、図3で示したように融解層以下に湿潤な層が存在し、そこでの蒸発冷却が抑えられたため、下

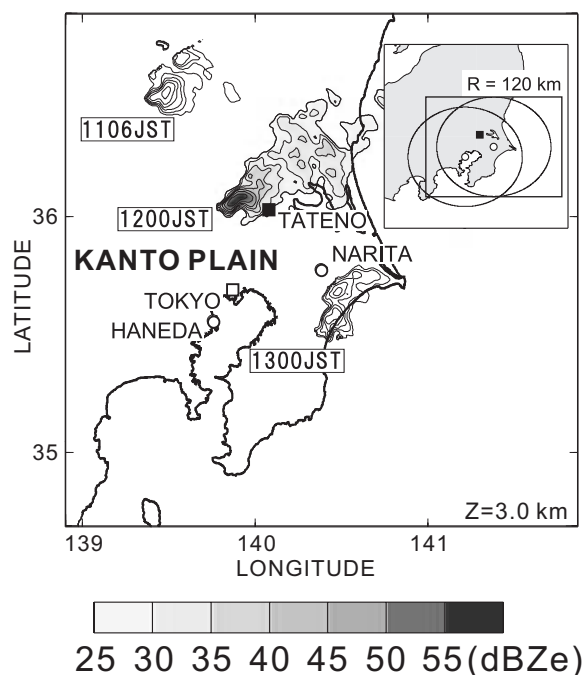


図2 観測領域と羽田空港と成田空港の Dopp レーダーの位置。高度 3 km における 12 時の反射強度をグレースケールで 13 時と 11 時 6 分は 5 dBZe 毎の等値線で示す。

降流が弱かった事が挙げられていたが、図 4 で示すように、12 時 42 分にストームが通過した佐倉市では通過後に風が非常に強くなっている。さらに、気温の変化を見ると、11 時 44 分にストームが通過した古河市での気温降下は 3 度ほどだったが、佐倉市では 9 度もの気温降下が見られた。この事は、蒸発冷却が抑制されていた事と矛盾する。さらに、反射強度分布で見ても、12 時 12 分までは、フック状をしていたが、12 時 24 分以降、強い反射強度の面積が広がっており、13 時 6 分には、新しいセルが南側に形成されている。このことから、12 時 30 分頃から、ストームの構造が変化したと考えられる。そこで、このストームの構造の変化とストーム周辺の環境場の変化を調べるために、1km-NHM の再現結果を使って考察する。

4. 1km-NHM による再現結果

図 5 は、1km-NHM によって再現された高度 2.88 km における雨混合比とストームに相対的な風の様子を示す(上図:12 時、下図:12 時 30 分)。雨混合比の分布が、観測されたフックエコーの形(Shimizu et al.,2001)によく対応している。図 5 の A-A' 上の鉛直断面にお

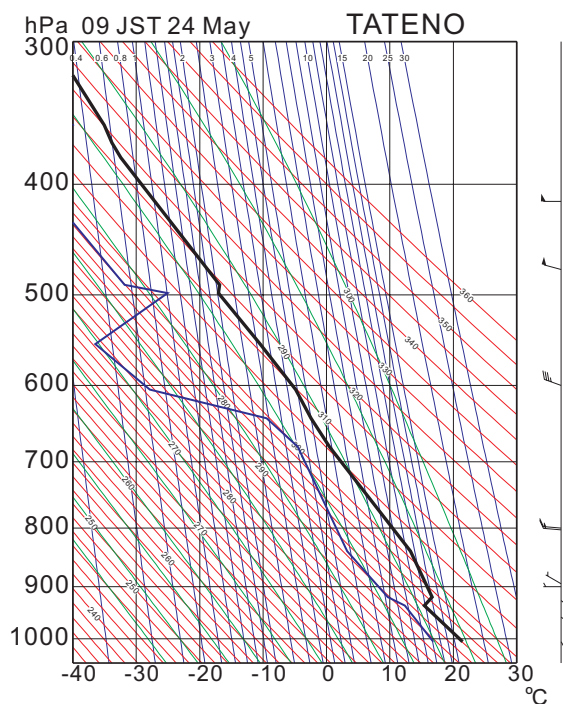


図3 館野における午前 9 時の断熱図。太実線が気温、細実線が露点温度を示す。融解層(高度 3 km)以下は相対湿度が 70% 以上の湿潤な環境場であった。

る、12 時と 12 時 30 分の構造の違いを調べる。

図 6 は、霰の混合比と鉛直速度の鉛直断面を示す。12 時には(上図)、ストーム後方の下降流域の中には、高度 6 km と 2 km に、それぞれ 2 つの下降流のコアが見られ、高度 2 km の下降流が非常に弱かった(2 m/s)。この下層の成因は、霰や雨のコアと一致していないことから、主に蒸発冷却であったと考えられる。

しかし、12 時 30 分には(下図)、下層の下降流のコアは、4 m/s 以上になっていて、鉛直速度の 0 線で定義するガストフロントの位置が、白抜き矢印で示された位置から前方の灰色の矢印の位置まで進行した。さらに、ガストフロント上では新しい上昇流のコアが形成されている。このことは、佐倉市での風速の強化と、13 時 6 分に見られた新しいセルとよく対応する。

このような構造の変化に対応する環境場の変化を調べるために、同じ鉛直断面での相対湿度の分布を見る。図 8 は、相対湿度と霰の混合比の鉛直断面を示す。12 時には(上図)、ストーム後方における高度 3 km 以下の相対湿度は、およそ 80% 以上であったが、12 時 30

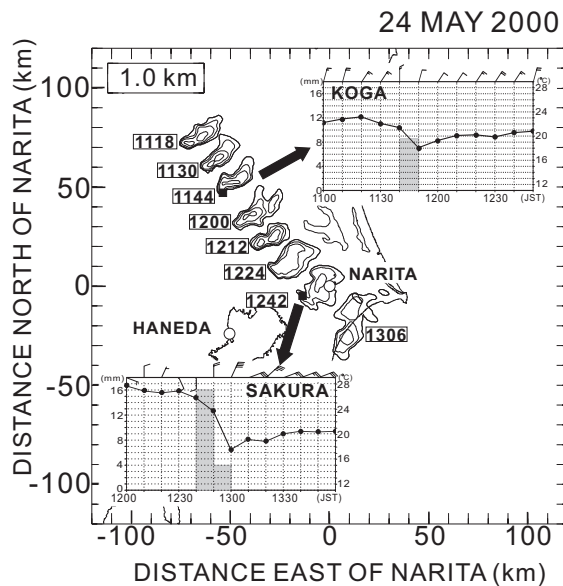


図4 高度1 kmにおける11時18分から13時6分の反射強度分布、古河市と佐倉市における地上気温（折れ線）、降水量（棒グラフ）と風向・風速の時系列。

分には、高度3 km以下で、相対湿度が80%以下となり、乾燥化が見られた。このため、下層での蒸発冷却が促進し、下降流が強化されたと考えられる。このことは、佐倉市での9度の気温降下にも良く対応する。これらのことから、このストームの構造の変化は、ストームの周囲の湿度場が変化したことによってもたらされたと示唆される。

5. 結論

図8は、このストームの12時（上図）と12時30分（下図）における構造の違いを示した概念図である。12時には、下降流が弱かったため、弱いinflowでもガストフロントがストーム前方に進行してしまうのを抑える事ができたが、12時30分には、下層が乾燥化する事で、蒸発冷却が盛んに起こり、下降流が強化され、ガストフロントが進行してしまったために、古典的なスーパーセルのような定常的な上昇流を維持する事ができなかった。このように、定常的な上昇流を維持するためには、inflowとoutflowの収束する位置が重要だと言える。この収束する位置を決定するためには、inflowとoutflowのそれぞれの強さが環境場のどのようなパラメーターで決定され

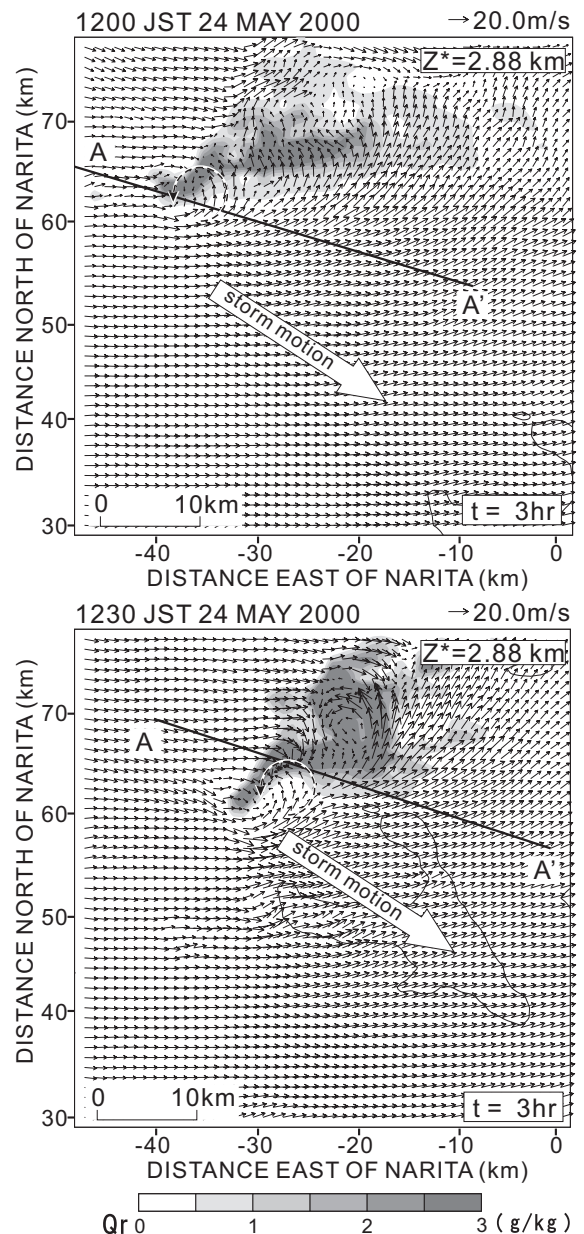


図5 数値シミュレーションによって再現されたストーム（上図:12時 下図:12時30分）。高度2.88 kmにおける雨混合比をシェードで、ストームに相対的な風の流れをベクトルで示す。破線の矢印は、風の反時計周りの回転を示す。）

ているのかを定量的に知る必要がある。この解析では、環境場の湿度場がoutflowの強さに影響を与えている事が示唆された。つまり、環境場の湿度場は、CAPEや鉛直シアと同様、スーパーセルの定常性を決定するための重要なパラメーターであると言える。今後の研究で、環境場の湿度とoutflowの強さの関係について定量的な議論が必要であると考えられる。

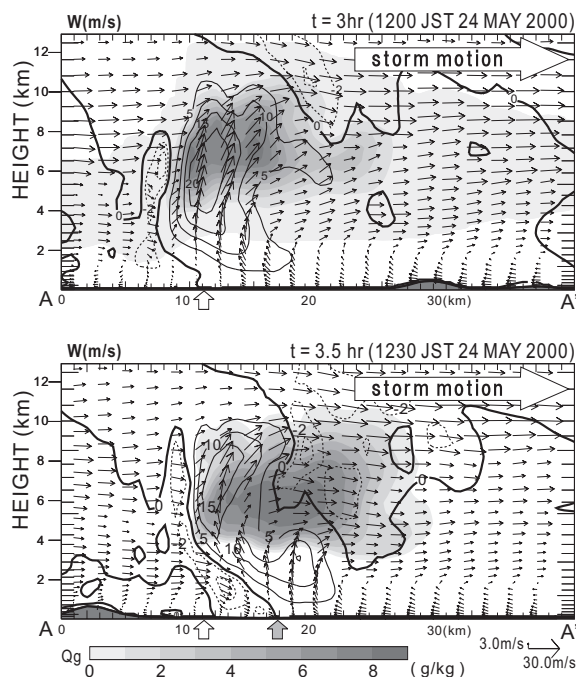


図6 霰の混合比(シェード)と鉛直速度(等値線)のA-A'上(図5)の鉛直断面(上図: 12時 下図: 12時30分)。上昇流は5 m/s 毎の実線で示し、下降流は2 m/s 毎の破線で示す。

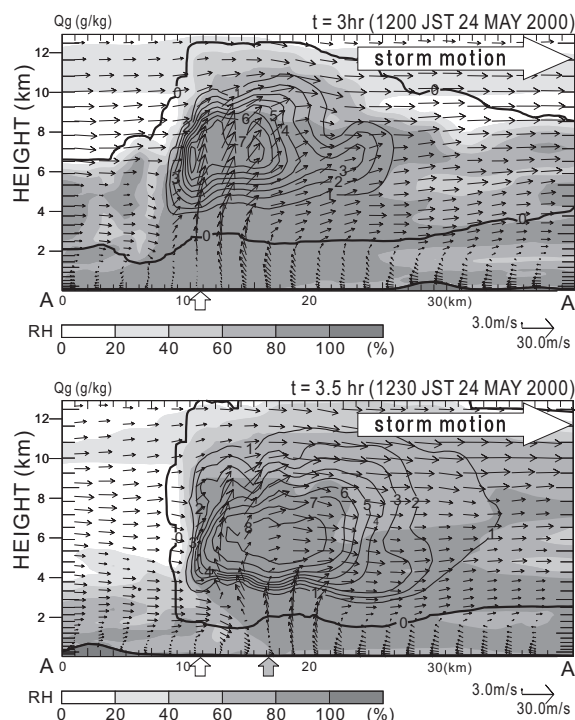


図7 相対湿度(シェード)と霰の混合比(等値線)のA-A'上(図5)の鉛直断面(上図: 12時 下図: 12時30分)。

謝辞. 観測データの取得にあたって、羽田空港、成田空港の方々には御協力を頂き、心から感謝致します。また、数値モデルの計算においては、北海道大学大型計算機センターのスーパーコンピュータ HITATI SR8000 を利用させて頂きました。

参考文献

Browning, K. A. and G. B. Foote, 1976: Air-flow and hail growth in supercell storms and some implications for hail suppression. *Quart. J. R. Soc.*, **102**, 499–533.

Shimizu, S., H. Uyeda, Q. Moteki, T. Maesaka, Y. Takaya, K. Akaeda, T. Kato and M. Yoshizaki, 2001: Maintenance mechanism of a 24 May 2000 supercell storm developing in moist environment over the Kanto Plain, Japan. *International Conference on Mesoscale Meteorology and Typhoon in East Asia*, 30–35.

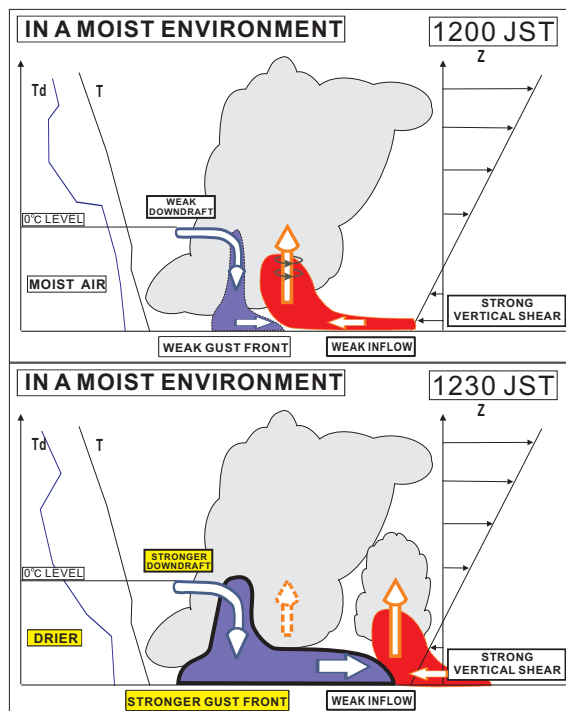


図8 今回観測されたストームの12時(上図)と12時30分(下図)の構造を示す概念図。