

小型のスーパーセルにおける下層のメソサイクロンの発達機構

Evolution of the low-level mesocyclone in a mini supercell

野田 暁[1], 新野 宏[2]

Akira Noda[1], Hiroshi Niino[2]

[1] 東大海洋研, [2] 東大・海洋研

[1] Ocean Research Institute, Univ. of Tokyo, [2] Div. of Marine Meteor., Ocean Res. Inst., Univ. of Tokyo

<http://sea3.ori.u-tokyo.ac.jp/~noda>

竜巻を発生させるスーパーセルという特殊な雷雲の下層の循環(メソサイクロン; MC)の成因は、現在も論争が続いている。観測されたストームの特徴が数値シミュレーションでよく再現された1990年9月19日栃木県壬生町の竜巻発生時の事例に基づき、近年注目されている小型のスーパーセル下層のMCの生成機構を調べた。ストーム最盛期に下層のMC内に置いた粒子の20分間のバック・トラジェクトリに沿って過度収支解析を行ったところ、MCに達する空気のはほとんどはMCの北～東の高度1kmから来ており、その高度の鉛直シアに伴う水平な渦管を下向き、水平、上向きの順に立ち上げ、最終的に引き伸ばすことでMCの鉛直渦度を生成していた。

竜巻を生成するスーパーセルと呼ばれる特殊な積乱雲の下層に生ずるメソサイクロン(MC)の成因に関しては現在も論争が続いている。従来からよく知られている古典的スーパーセルと呼ばれる代表的なスーパーセルについてもっとも有力な説は、ガストフロント付近の傾圧場で作られる水平な渦管をMCの上昇流で立ち上げるというものである。しかし、近年発見された小型のスーパーセルは古典的スーパーセルのように強い冷氣ブルを伴わないため、その下層のMCの成因は謎であった。本研究では粒子のトラジェクトリーに沿ったラグランジュ的な過度解析を行うことにより、小型のスーパーセル下層のMCの成因を明らかにした。

用いた数値モデルはARPS Ver.4.2.1(Xue et

al., 1995)である。格子間隔は水平方向500m、鉛直方向は地上付近で50m、高度14kmで550mとなる非等間隔格子を使用した。計算領域は水平66km四方、鉛直14.1kmである。境界条件は、側面開放、上・下端はfree-slipで断熱の剛体壁、高度10kmから上では時定数300sのRayleigh dampingをかけた。雲物理過程は暖かい雨のみ考慮した。基本場は1990年9月19日21JSTの館野の観測データを水平一様に与えた。対流を発生させるため、最大温度偏差4Kのbubbleを高度1.5kmに置いた。シミュレーションは160分間行い、解析のため3次元データを10分毎(50~70分の間は6秒毎)に保存した。

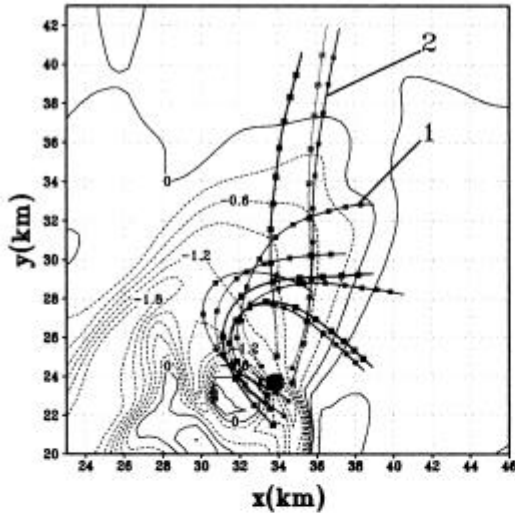
対流が始まって20分後(以下、 $t=20$ と書く)には高度1kmで雨水分布が南北に伸び始め、その南東部にMCが現れる。その後も、雨水分布は更に南北に伸び、 $t=70$ にはフック状となった雨水分布の南端付近で下層のMCは最盛期を迎える。これらの特徴は観測結果(Suzuki et al., 2000)と良く一致している。その後、ストームは $t=120$ にも下層のMCが最盛期を迎えるなどの周期的な世代交代を繰り返しながら、長時間持続された。

下層のMCの最盛期である $t=70$ に、高度175mでMCを取り囲むように10個の粒子を置き、6秒毎の3次元データに基づき前20分間のバック・トラジェクトリーを計算した(第1図)。MCへ流入する経路は大きく分けた2通りあり、1つはMCの北～東側の高度1km付近から反時計周りに下降しMCの西側から流入するもの(経路1)、もう1つはMCの北側の地表付近から南へと向かってMCに流入するもの(経路2)であった。経路1と経路2の気流を粒子1と2で代表させて過度収支を調べた。まず、 $t=50$ において、過度方程式のstretching項、tilting項、傾圧項を計算し6秒後の過度を予報する。次に、バック・トラジェクトリーに沿って粒子を動かし、6秒後の位置で、予報された過度を用いて各項を計算する。以下、同様の事を6秒毎に200回繰り返す。この様にして得られた鉛直渦度の変化を粒子1と2に対して示したのが第2図、第3図である。この計算の妥当性は、予報された過度と粒子の位置で求めたオイラー的過度とがほぼ一致することで確認されている。

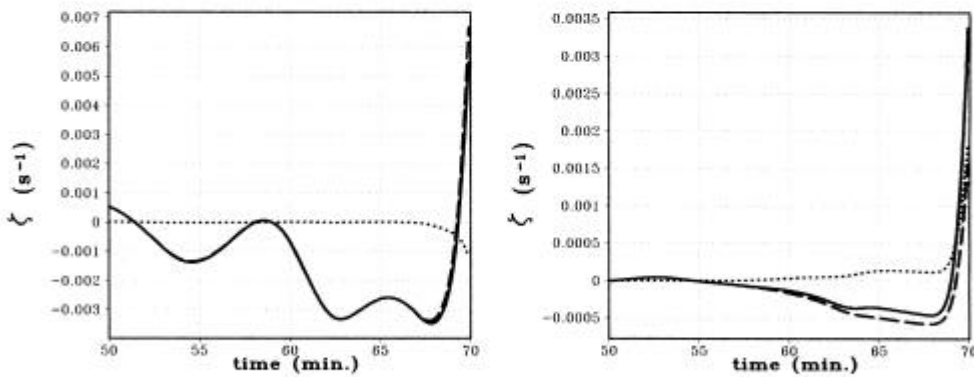
粒子1は高度1kmの水平風が持つ鉛直シアに伴う水平な渦管を傾けながら下降流で下層へと輸送する。地表近くで再び水平になった渦管は $t=69$ に上昇域に入って立ち上がり引き伸ばしを受けて急激に正の値を増やす。傾圧項は過度収支にはほとんど効いていなかった。粒子2は、 $t=68$ 位から水平渦度を立ち上げ、鉛直渦は増加し始める。正になった鉛直渦は引き伸ばしも手伝って更に引き伸ばしも受け鉛直渦度は更に増加していく。最終的には鉛直渦度の半分が傾圧項により生成されていた。

下層のMCへと流入する気流のほとんどは経路1によって占められていることから下層のMCは、高度1km付近にある基本場の鉛直シアに伴う水平渦度を下層へと運び、これを立ち上げることで発達する。この機構は、ストーム前方のガストフロント付近において傾圧項で作られる水平渦度を立ちあげることによって生成される従来のスーパーセルのMC(Rotunno and Klemp, 1985)の形成機構とは大きく異なっている。

謝辞 This simulation was made using the Advanced Regional Prediction System(ARPS) developed by the



第1図: $t=70$ に高度 175m のMC (大きな黒丸) の周りに置いた 10 個の粒子の 20 分間のバック・トラジェクトリー (2分毎に四角の点で示す)。等値線は高度 25m における 0.3K 毎の温位偏差。



第2図(左): 粒子1についての鉛直渦度 ζ の時間変化。渦度方程式において、傾圧項を含む場合 (実線)、傾圧項を含まない場合 (破線)、傾圧項を含むが $t=50$ における初期の渦度を 0 とおいた場合 (点線)。第3図(右): 第2図と同じ。ただし粒子2について。