

# A Numerical Investigation of Tornadogenesis Associated with the Interaction between a Supercell and an Outflow Boundary

本田, 匠

<https://hdl.handle.net/2324/1500506>

---

出版情報：九州大学, 2014, 博士（理学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

氏 名 : 本田 匠

論 文 名 : A Numerical Investigation of Tornadogenesis Associated with the Interaction between a Supercell and an Outflow Boundary  
(スーパーセルストームと冷気外出流境界との相互作用に伴う竜巻発生の数値的研究)

区 分 : 甲

### 論 文 内 容 の 要 旨

竜巻の多くは、発達した積乱雲(スーパーセルストーム)に伴って発生する。スーパーセル内部には、メソサイクロン(以下MC)と呼ばれる竜巻よりも水平スケールの大きい渦が存在しており、MCの強い回転が竜巻発生に重要な役割を果たすことが良く知られている。このことから、MCの発達はスーパーセルに伴う竜巻発生の必要条件ともみなされ得る。

これまでの研究のほとんどは、孤立した1つのスーパーセルのもとでの竜巻発生を想定していた。しかし、近年の観測によって、先行する別の対流雲が作り出す地表の冷気外出流境界の重要性が指摘されてきている。そこで本研究では、スーパーセルと冷気外出流の両方を含む数値実験を結合リスタートという新たに開発した手法を用いて行い、両者の相互作用に伴う竜巻発生過程の詳細を調べた。

数値実験の結果、先端に水平シアを持たない冷気外出流境界はスーパーセルストームとの相互作用時に竜巻発生を促進することが明らかになった。渦度収支解析は、竜巻発生の促進が冷気外出流境界による水平収束の強化とそれに伴う引き伸ばし項の卓越に起因していることを示していた。気圧摂動の分解解析から、冷気外出流境界との相互作用に伴う竜巻発生時においても、MCの強い回転が非常に重要な役割を果たしていることが示唆された。実際、冷気外出流境界との相互作用のタイミングを変えた実験を行ったところ、特に下層(雲低付近)のMCが事前に発達していない状況では相互作用に伴う竜巻発生の促進がみられなかった。したがって、下層MCの事前発達は、冷気外出流境界との相互作用時に伴う竜巻発生においても、必要条件とみなされ得る。これらの結果は、対流有効位置エネルギーが少ない基本場においても同様にみられた。

冷気外出流境界の強さ(冷たさ)を変えた感度実験を行ったところ、竜巻発生は中程度の強度を持つ冷気外出流境界との相互作用時に最も顕著にみられた。このことは、冷気外出流先端における水平収束の振幅とその内部の気塊浮力とのバランスとして解釈される。より冷たい冷気外出流境界はより強い水平収束を伴うため、相互作用に伴う竜巻発生の促進に有利である。一方で、そのような冷気外出流の内部にはより浮力の小さな気塊が存在している。これらの気塊は、上昇流強化の障害を通して、渦の引き伸ばしによる竜巻発生を障害し得る。実際、鉛直運動方程式の収支解析や流跡線解析は、より冷たい冷気外出流境界内部の気塊浮力が小さいこと、これらの気塊がスーパーセル内の地表渦直上へと流入することを示していた。最適な冷気外出流境界の強度はスーパーセル直下の冷気プール強度に依存しており、スーパーセルが強い冷気プールを持つ場合にはより冷たい冷気外出流境界との相互作用が最も竜巻発生を促進していた。

冷気外出流境界が先端に水平シア（鉛直渦度）を伴う場合，水平シアの強さやその向きに応じて異なる竜巻発生過程が卓越することが明らかになった．スーパーセル内の下層 MC が事前発達している場合，負の鉛直渦度もしくは比較的弱い正の鉛直渦度を伴う冷気外出流境界との相互作用は，MC に伴う竜巻発生を促進していた．同じように下層 MC が事前発達していたとしても，中程度以上の強さの鉛直渦度を伴う冷気外出流境界との相互作用時には，MC に伴わない竜巻発生過程と MC に伴う竜巻発生過程の両方の特徴を持つハイブリッドな過程がみられた．一方，スーパーセル内の下層 MC が事前発達していない場合，中程度以上の渦度を伴う冷気外出流境界との相互作用は，MC に伴わない竜巻発生を促進していた．また，このとき生じる竜巻の回転方向は，冷気外出流境界先端の鉛直渦度の符号に依存していた．

先端に中程度以上の強さの水平シアを伴う冷気外出流境界との相互作用とそれに伴う竜巻発生の促進は，冷気外出流境界がそれほど冷たくないときに最も顕著にみられた．このことは，このような冷気外出流境界との相互作用時にはその先端の渦度および水平風摂動の流入が最も重要であり，冷気外出流境界先端の水平収束がそれほど重要な役割を果たさないこととも整合的である．