

平成 25 年 9 月 2 日の越谷市・野田市等に被害をもたらした竜巻について

～局地前線とガストフロントの衝突および積乱雲の急発達～

今年 9 月 2 日、埼玉県越谷市や千葉県野田市等に被害をもたらした竜巻について調査しました。竜巻をもたらした積乱雲の構造には、メソサイクロンなどスーパーセル特有の特徴が確認できました。竜巻発生前から存在していた局地的な前線に、この積乱雲にともなうガストフロントが衝突し、その時間・位置で竜巻が発生していました。この衝突によってガストフロント上の渦が強まり、竜巻が発生した可能性があると考えられます。この積乱雲は竜巻発生の約 20 分前から急速に発達し、下層に局所的に流れ込んだ大量の水蒸気がその発達をもたらしていました。

今年 9 月 2 日に埼玉県越谷市や千葉県野田市等に被害をもたらした藤田スケール F2 (最大風速 50～69m/s) と推定された竜巻 (図 1) について、観測データや客観解析データを用いて昨年 5 月 6 日につくば市で被害をもたらした竜巻との類似性も含めて調査しました。気象レーダの解析から、竜巻をもたらした積乱雲の構造 (図 2) には、竜巻発生時刻 (14 時過ぎ) 頃に、竜巻付近にフックエコー (左上図)、メソサイクロン (左下図)、丸天井構造 (右図) といった典型的なスーパーセル (巨大積乱雲) の特徴が確認できました (各特徴の説明は参考資料を参照してください)。また竜巻発生時刻頃に、竜巻をもたらした積乱雲にともなう発生したガストフロント (強風をとまなう前線) が、南寄りと北寄りとの風の境界として、この積乱雲の発生以前から存在していた局地的な前線 (以下、局地前線) と衝突していました (図 3)。この衝突によってガストフロント上の渦が強まった可能性があり、その渦が上空のメソサイクロンにともなう強い上昇気流によって引き伸ばされて、竜巻が発生したと考えられます。ガストフロントと局地前線の衝突の様子は、気象レーダおよび気象衛星の雲画像で確認することができました。

気象衛星ひまわりの雲画像により、竜巻をもたらした積乱雲の発達高度と大きさを解析しました (図 4)。この積乱雲は、竜巻発生の約 20 分前から急速に発達をはじめ、竜巻の発生時刻には高度 14km 以上、大きさ (かなとこ雲を含む水平方向の広がり) が 30km の巨大積乱雲になっていました。その後かなとこ雲が広がって、積乱雲の大きさは 50km ほどに達していました。この積乱雲の急発達は、南寄りの風によって海上から局所的に流入していた大気下層の大量の水蒸気によってもたらされていました (図 5)。このような局所的な水蒸気の流入による積乱雲の発達は、昨年につくば市での竜巻のケースでもみられていました。

【本件に関する問い合わせ先】

気象研究所企画室

TEL : 029-853-8535 (広報担当)



図1 竜巻の被害分布の概要

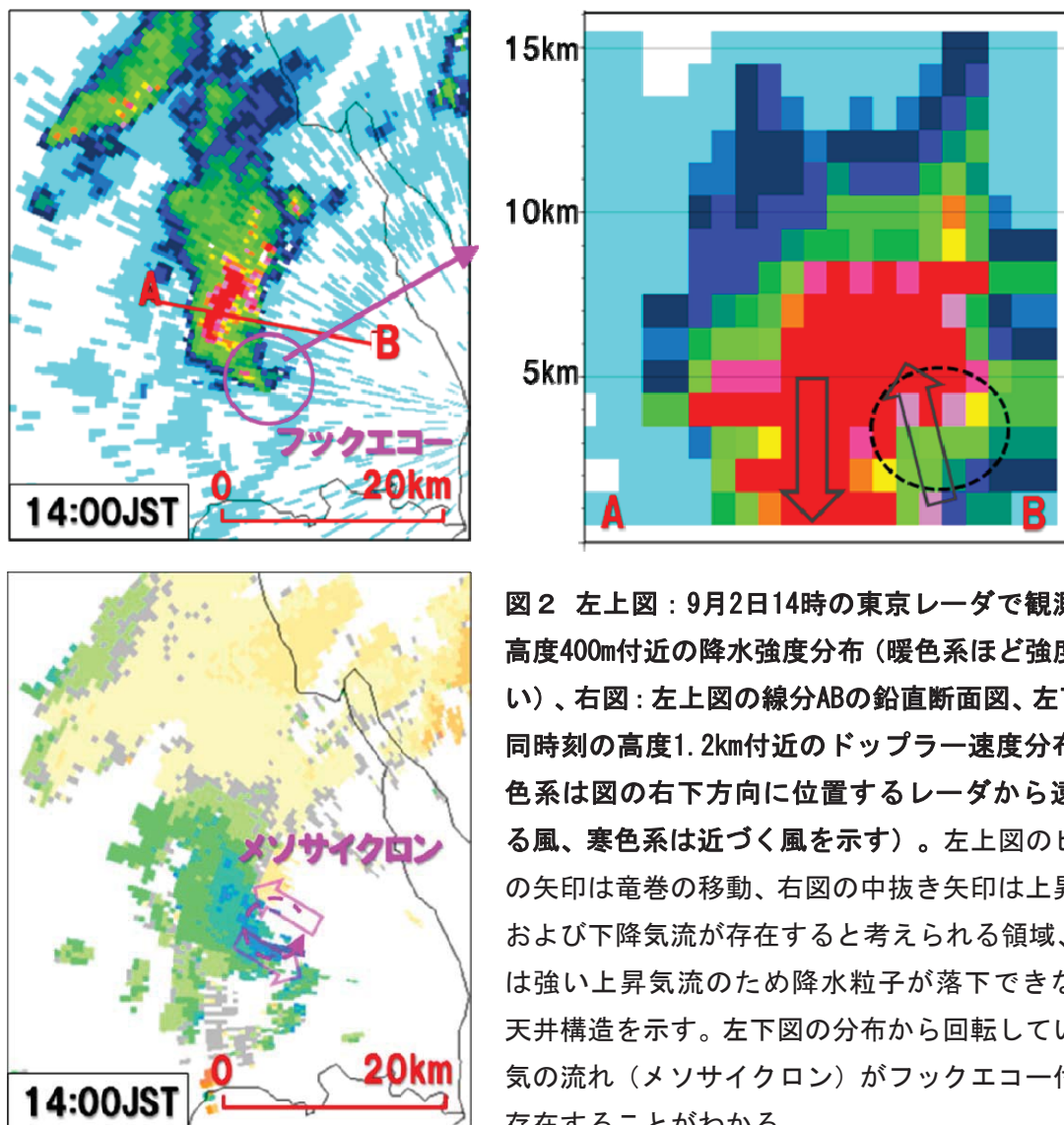
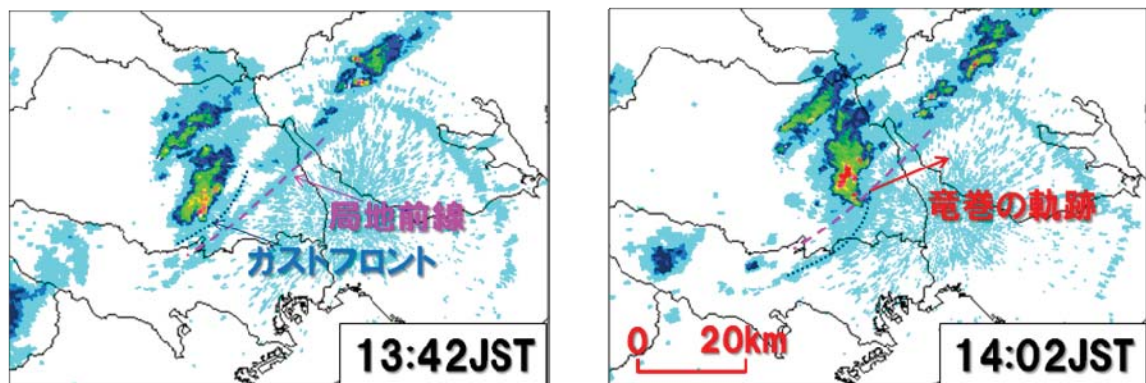
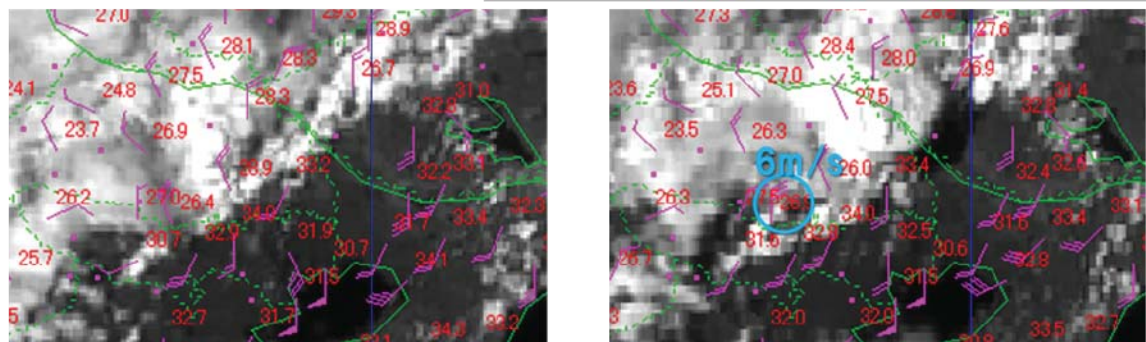


図2 左上図：9月2日14時の東京レーダで観測した高度400m付近の降水強度分布（暖色系ほど強度が強い）、右図：左上図の線分ABの鉛直断面図、左下図：同時刻の高度1.2km付近のドップラー速度分布（暖色系は図の右下方向に位置するレーダから遠ざかる風、寒色系は近づく風を示す）。左上図のピンクの矢印は竜巻の移動、右図の中抜き矢印は上昇気流および下降気流が存在すると考えられる領域、楕円は強い上昇気流のため降水粒子が落下できない丸天井構造を示す。左下図の分布から回転している空気の流れ（メソサイクロン）がフックエコー付近に存在することがわかる。



局地前線とガストフロントの交点で竜巻が発生



局地前線とガストフロントが衛星可視画像で確認できる

図3 上図：9月2日13時42分と14時02分までの気象レーダによる高度約400m付近の降水強度分布（暖色系ほど強度が強い）、下図：同時刻の気象衛星ひまわりの可視画像とアメダスの風（長い矢羽の1本が2m/s、短い矢羽が1m/s、ペナントが10m/sの風を示す）と気温。上図には水色の弱い降水強度の領域（降水粒子ではなく昆虫などに反射したものと考えられる）として、線状の局地前線（ピンクの破線）と積乱雲からの弧状のガストフロント（青色の点線）がみられる。竜巻が発生した時刻・位置（竜巻の軌跡の赤矢印の始点）で、局地前線とガストフロントが衝突し、竜巻となったガストフロント上の渦が強化された可能性がある。この位置にはフックエコーがみられ、その付近に存在するメソサイクロン（図2参照）にともなう強い上昇気流がガストフロント上の渦を引き伸ばして、竜巻が発生したと考えられる。気象レーダでみられた局地前線とガストフロントが気象衛星の可視画像でもそれぞれ線状と弧状の雲域として確認できる（下図）。アメダスの風や温度分布をみても、風向きの違いや温度差があることから局地前線が存在していたことがわかる。右下図の弧状の雲域（ガストフロントに対応）付近には6m/sの北よりの強風（水色の楕円で示す）が観測されており、これはガストフロントが20分で7km以上移動することを示唆しており、上図のガストフロントの移動速度とほぼ一致している。

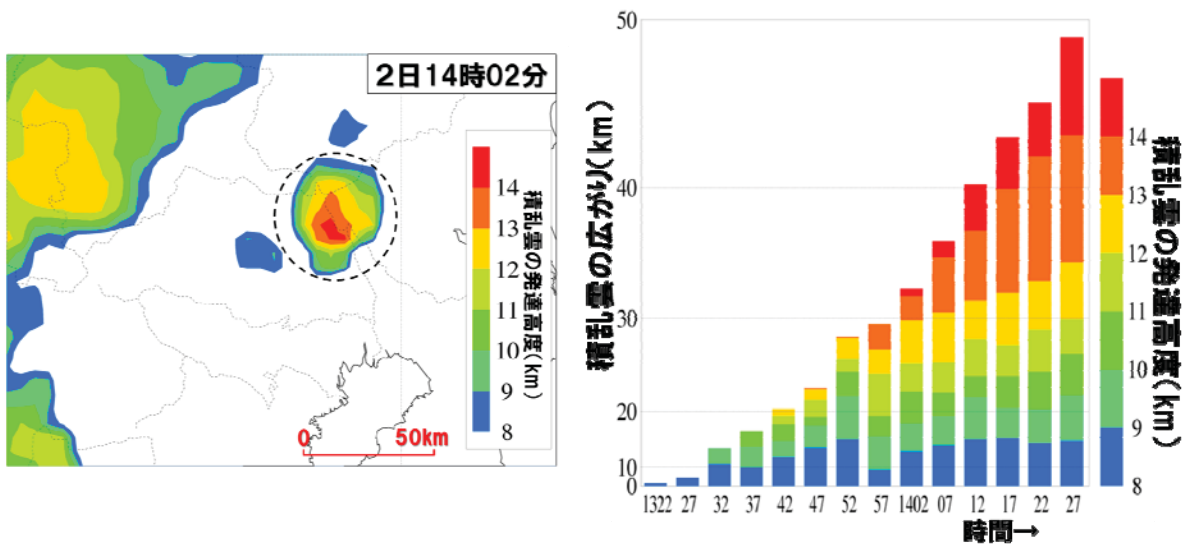


図4 左図：9月2日14時02分の気象衛星の雲画像（雲頂温度分布）から推定した積乱雲の発達高度、右図：13時22分から14時27分の竜巻をもたらした積乱雲（スーパーセル、左図の破線の円内）の広がりや発達高度別の出現割合の時間変化。左図をみると、竜巻が発生した時間（14時過ぎ）には、積乱雲は14km以上に発達し、その広がり（円を仮定したときの直径）が30kmを超えている。時間変化（右図）をみると、積乱雲は13時40分頃から急速に発達し始め、竜巻の発生直前（13時57分）には高度14km以上に達している。その後はかなとこ雲が上空で広がることで、かなとこ雲を含む積乱雲の広がりや50km近くになっている。名前のとおり、巨大積乱雲（スーパーセル）である。参考までに、2012年5月6日につくば市でF3の竜巻を生み出したスーパーセルの広がりや100kmを超えていた。

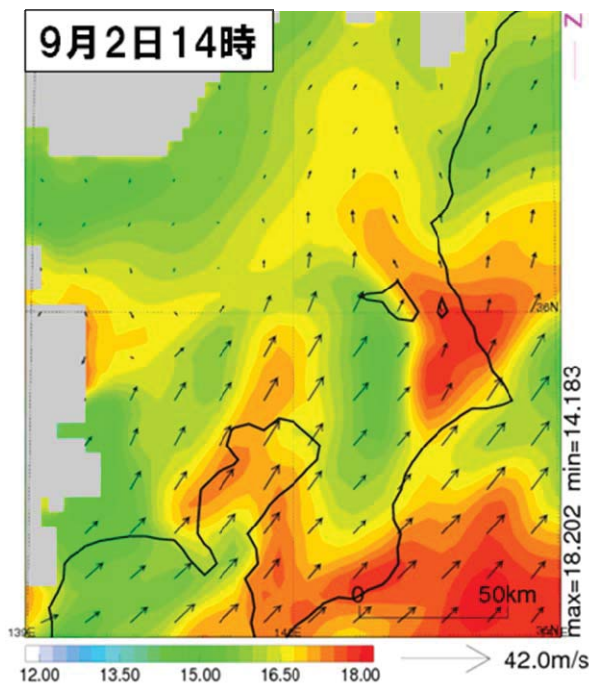
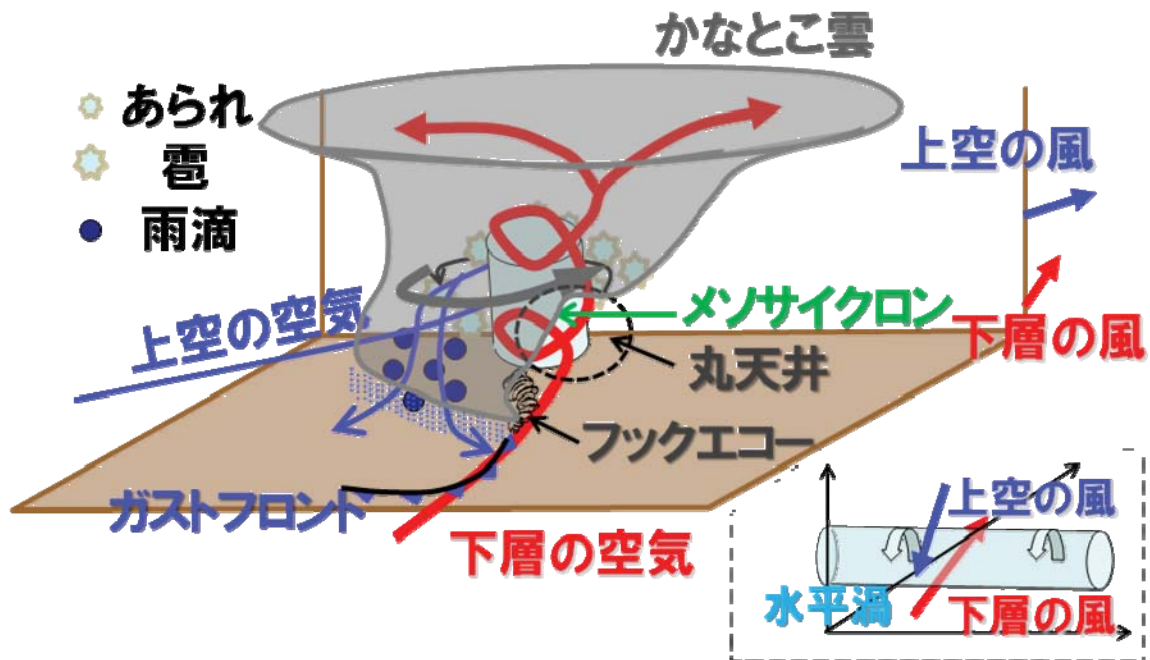


図5 9月2日14時の高度500mの水蒸気量と風の分布。積乱雲が急発達した時刻・領域に局所的に湿った空気が流入していることがわかる。2012年5月6日につくば市での竜巻のケースでも、同様に局所的な水蒸気の流入がみられた。



図A スーパーセル（回転する巨大積乱雲）の構造と竜巻の発生過程

- 1) 下層の水平渦（下層と上空の風向が異なることで作られる渦：上図右下参照）が積乱雲の強い上昇気流で持ち上げられ、スーパーセルを特徴付ける回転する強い上昇気流（メソサイクロン）が作られる。この回転する上昇気流にともなって、スーパーセルも回転する。
- 2) メソサイクロンによってさらに上昇気流が強められ、上昇気流域では降水は落下できずに、降水があまり存在しない丸天井（ヴォルト）構造が作られる。参考までに、メソサイクロンにともなう上昇気流は20～30m/sに達する一方、雨滴の落下速度は最大で8m/s程度である。
- 3) 丸天井上部の強い上昇気流中ではあられや雹が作られ、それらは回転する流れによって後方に移動しながら落下して、上昇気流と異なる領域に下降気流を作り出す。地上に達した下降気流は強風（ガスト）となって周囲に広がり、下層の暖かく湿った空気との境にガストフロント（強風をともなう前線）を形成する。
- 4) 竜巻はフックエコー（メソサイクロンにともなう強い上昇気流がある領域）付近のガストフロント上の渦が上空のメソサイクロンにともなう上昇気流によって引き伸ばされて発生する。このようにスーパーセルは 上昇気流が保持され、下層の水蒸気が供給されつづけて長命となるだけでなく、竜巻のもとになるガストフロントやそのフロント上の渦を自身で作り出し、竜巻を生み出しやすい危険な積乱雲である。