

## 2015年8月12日につくば市で観測された メソサイクロンに伴う Wall Cloud\*

荒木 健太郎\*<sup>1</sup>・益子 渉\*<sup>2</sup>・加藤 輝之\*<sup>3</sup>・南 雲 信 宏\*<sup>4</sup>

### 1. はじめに

2015年8月12日18:10頃(以下、日本時間)、茨城県つくば市でメソサイクロン(MC)に伴うWall Cloudが発生した。著者の一部は、気象研究所屋上からこのWall Cloudの形成・衰弱過程を撮影することに成功した。これらの映像は日本国内では貴重な資料である。

Wall Cloudは、積乱雲の雲底から局所的・一時的に下方にのびる雲で、通常その直径は1~数kmである(AMS Glossaryより)。Wall Cloudはスーパーセルに伴って発生することが多く、大気下層で上昇流が非常に強い位置に対応しており、しばしば竜巻が発生する直前に現れる。スーパーセルに伴って発生するWall Cloudは、降水域の近傍で雨滴の蒸発などの降水粒子の相変化に伴い冷却・加湿された空気が上昇流で持ち上げられて飽和することで、環境場の持ち上げ凝結高度よりも低高度に現れると考えられている(Markowski and Richardson 2010)。

一方、典型的なスーパーセルの特徴として、セル内に直径数kmの強い上昇流を伴う低気圧性回転渦であるMCが存在する(荒木 2014)。レーダー観測ではこのMCに対応してフックエコーが観測され、スーパーセルの進行方向の後面では、フックエコーに対応する降水域に下降流(RFD: Rear Flank Downdraft)が形成される。スーパーセルは鉛直シアの大

きな環境場で発生・発達するため、セルの進行方向の前面での降水域でも下降流(FFD: Forward Flank Downdraft)が形成される。Wall Cloudは、RFDとFFDに挟まれるように、フックエコー中心部(MC)の真下で形成されることが多い(Markowski and Richardson (2010)のFigures 8.16, 8.26参照)。

この日、つくば市で竜巻等の突風被害は報告されていない。本研究では、映像等の資料をもとにWall Cloudの観測的特徴と発生環境場について調べ、竜巻をもたらさなかった要因について考察した。

### 2. 画像解析による Wall Cloud の特徴

気象研究所屋上で撮影したWall Cloudの写真から、その形成・衰弱と構造変化を確認する(第1図)。18:01に見られる雲底が低下した部分は、その時刻の10分以上前から見られ、徐々に南東進して気象研究所に接近した。18:00頃からは、FFDに対応する降水域(各写真右奥)が目視でも明瞭に確認された。18:07頃からRFDに対応する降水域(各写真中心からやや左)が確認され、そのすぐ北西側(各写真左奥)は晴れ間も見えている。その後、急速に雲底が低下し、Wall Cloudが形成された。18:11~18:13にかけては目視でもWall Cloudの低気圧性回転が認められた。

18:16以降、Wall Cloudは不明瞭になりながら南東進し、18:18には消散した。18:16にWall Cloudの東に写っている雲は1分弱の時間で線状にのび、気象研究所上空を東進した(第2図)。これは、RFDによって形成されたガストフロントに対応するフランキングライン(flanking line)の雲であると思われる。18:16~18:17にかけてのWall Cloud, RFD/FFDに対応する降水域、フランキングラインの雲等の映像

\* Wall cloud associated with a mesocyclone observed in Tsukuba city on 12 August 2015.

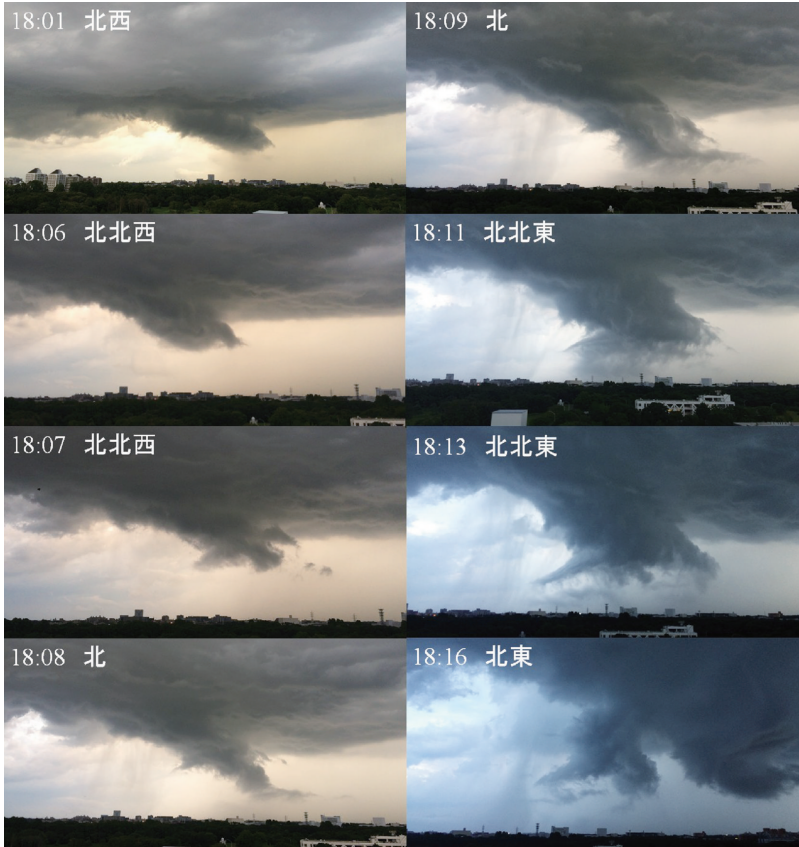
\*<sup>1</sup> (連絡責任著者) Kentaro ARAKI, 気象研究所。  
E-mail: araki@mri-jma.go.jp

\*<sup>2</sup> Wataru MASHIKO, 気象研究所。

\*<sup>3</sup> Teruyuki KATO, 気象研究所。

\*<sup>4</sup> Nobuhiro NAGUMO, 気象研究所。

© 2015 日本気象学会



第1図 つくば市で発生した Wall Cloud の時間変化。2015年8月12日18:01～18:16に気象研究所屋上から撮影。図中の方位は撮影している向きを示す（撮影者：荒木健太郎）。



第2図 つくば市で発生した Wall Cloud とフランキングラインの雲。2015年8月12日18:17に気象研究所屋上から北東方向を中心にパノラマ撮影したもの（撮影者：荒木健太郎）。

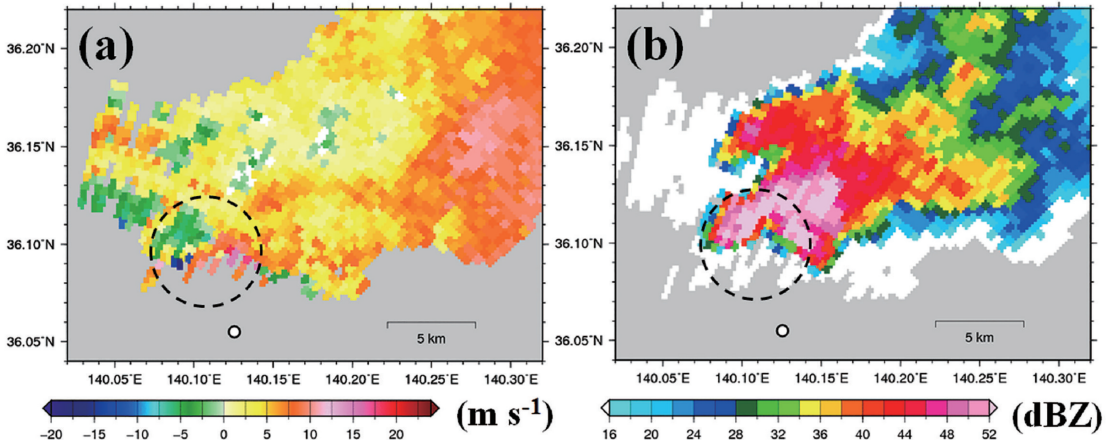
東寄りの風が北風に変化し、海面気圧が約0.3 hPa 上昇、気温が約0.4°C低下した（図略）。これは RFD によって形成されたガストフロントの通過と考えられ、フランキングラインの雲形成のタイミングとよく対応している。

3. レーダー観測による親雲の構造

気象庁東京レーダーの観測結果から、撮影された Wall Cloud を伴う積乱雲（以降、親雲）の構造を調べた（第3図）。18:04の仰角3.8度（つくば市付近では高度2～2.5 km）の観測では、親雲の南西端に直径数 km の低気圧性回転があり、それに対応してフックエコーが明瞭になりつつあった。この低気圧性回転は MC に対応すると考えられる。この MC は17:50から持続しており、鉛直方向には高度約3.5～4 km まで同様な構造を持っていた（図略）。撮影された Wall Cloud はこの MC の下部に位置し、18:07以降に急速に発達していた。また18:10以降、Wall Cloud の親雲には高度3.5 km 付近に BWER (Bounded Weak Echo Region) が存在し、オーバーハングしたエコーが見られた（図略）。これらの

は、Heavy-precipitation 型のスーパーセルによく似ている (Doswell and Burgess 1993; Markowski and Richardson 2010の Figure 8.26)。館野（気象研究所）の地上気象観測では、18:11～18:16に一時的に

特徴は典型的なスーパーセルやミニスーパーセルに見られる構造である。



第3図 2015年8月12日18:04の東京レーダーによる (a) ドップラー速度 ( $\text{m s}^{-1}$ ) と (b) 反射強度 (dBZ)。(a) 中の寒色は東京レーダー (位置は第4図参照) に近づく風, 暖色は遠ざかる風を表している。各パネルの白丸は気象研究所の位置を示す。

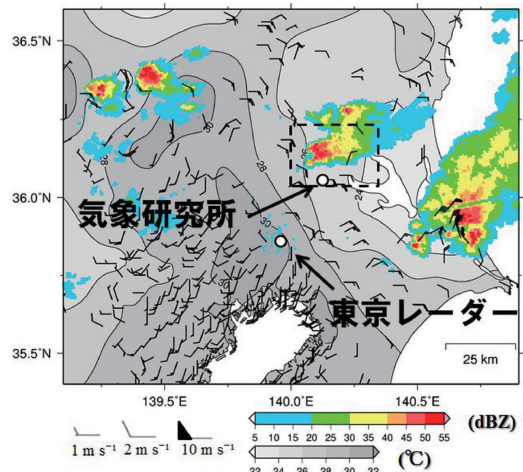
#### 4. メソスケールの発生環境場

2015年8月12日は、九州付近に温帯低気圧、関東の東海上に台風第14号が存在していたが、関東地方では総観スケールの風は弱かった (図略)。上層擾乱も存在せず、500 hPa の気温も  $-5 \sim -4^\circ\text{C}$  と平年並みだった。このため、本事例ではメソスケールの局地循環等が MC を伴う親雲の発生環境場として重要であったと考えられる。

第4図に気象庁アメダスと環境省大気汚染物質広域監視システムによる18:00の地上気象観測結果と18:01の東京レーダーの観測結果を示す。気象研究所の北にある親雲の他に、南東側にも活発な対流システムが存在している。この対流システムは17:00頃からつくば市の東側で発達し、南東進した。地上ではこのシステムから西～南西に向かうガストフロントが観測されており、18:00にはつくば市でも鹿島灘からの海風を強化して冷たい東寄りの風が吹いていた。

親雲を発生させたメソスケールの環境場について、気象庁局地解析を用いて調べた。大気熱力学場を表すパラメータとして、850 hPa よりも下層で最大の相当温位を持つ空気塊を持ち上げた CAPE を計算した。また、力学場を表すパラメータとして、Bunkers *et al.* (2000) の方法で計算した地上から高度3 km までのストームに相対的なヘリシティ (SREH) を用いた。

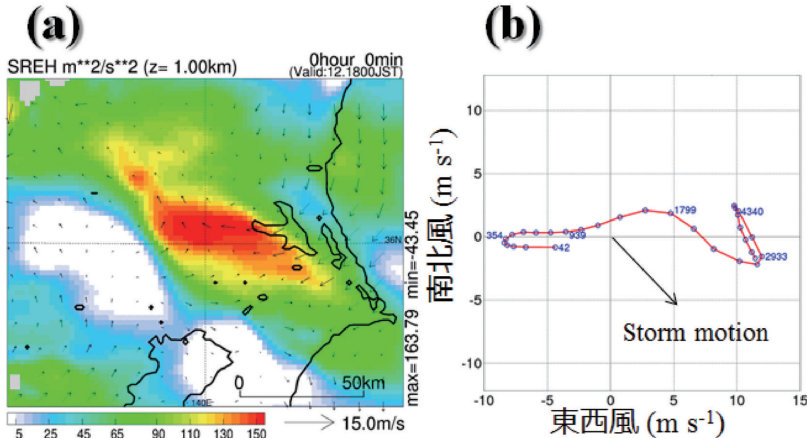
つくば市を含む茨城県南部での CAPE は14:00には  $500 \text{ Jkg}^{-1}$  程度だったが、海風による湿潤な空気の



第4図 2015年8月12日18:00の地上気象観測結果と東京レーダーの18:01の仰角1.7度の反射強度 (dBZ)。陰影は地上気温 ( $^\circ\text{C}$ , 等値線は  $2^\circ\text{C}$  間隔)、矢羽は地上風, 白丸は気象研究所と東京レーダーの位置を示す。破線は第3図の領域。

流入で15:00以降  $1000 \text{ Jkg}^{-1}$  以上になった。また、親雲が発生・発達した17:00, 18:00には最大で  $1200 \sim 1500 \text{ Jkg}^{-1}$  以上の CAPE が解析される地域があった (図略)。

SREH については、17:00では親雲が発生した地域の北～東の地域で大きく、最大で約  $110 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$  があった。18:00では茨城県南部で  $150 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$  を超えて



第5図 気象庁局地解析によるメソスケールの環境場。(a) 18:00のSREH ( $\text{m}^2\text{s}^{-2}$ ), (b) 18:00の館野を中心に $10 \times 10 \text{ km}^2$ で領域平均した風による hodograph. (a) のベクトルは絶対高度1 kmの水平風, (b) 中の数字は絶対高度 (m), 矢印はレーダーエコーから推定したストームの移動ベクトルを示す。

おり、大気下層の鉛直シアがさらに大きくなった (第5図a)。レーダーエコーから推定したストームの移動ベクトルを用いたSREHは、Bunkers *et al.* (2000) の方法で求めたものとはほぼ同じだった。この値は2012年5月6日に茨城県つくば市に被害をもたらした藤田スケール F3の竜巻を生み出したスーパーセルの発生環境場での値 (約 $250 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ ; Araki *et al.* 2014) より小さく、アメリカの竜巻をもたらさないスーパーセルの発生環境場の代表値 ( $146 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ ; Thompson *et al.* 2003) と同程度で、つくば市で竜巻が発生しなかったことと整合的である。つくば市で18:00に地上で観測されていた鹿島灘からの海風と先行する活発な対流システムからのガストは、東寄りの風として地上から高度約1 kmに達していた (第5図b)。Wall Cloudを伴う親雲は、このような大気下層の鉛直シアが一時的に増大したメソスケール環境場で発生したことが示唆される。

## 5. まとめ

本研究では、2015年8月12日に茨城県つくば市で発生した Wall Cloud の形成・衰弱の映像資料から、その特徴について述べた。気象レーダーから Wall Cloud の上空約2 kmにはMCの存在が確認でき、先行する活発な対流システムからのガストの影響を受けて局地的・一時的に大気下層の鉛直シアが大きい環境場でMCを伴う親雲が発生していたことがわかった。

ただし、本事例のようにMCが存在していたとしても、必ずしも竜巻は起こらない (Trapp *et al.* 2005)。スーパーセルが竜巻をもたらすかどうかに関して、熱力学場・力学場の解析が進められているが (Brooks *et al.* 1994; Markowski *et al.* 2002; Thompson 1998)、スーパーセルの雲物理過程に関しても未解明な点は多い (Markowski and Richardson 2009)。本事例についても、今後気象研究所Cバンド固体素子偏波ドップラーレーダーによる偏波観測情報の解析を進

め、親雲の雲物理的特徴を含む詳細構造を調べていくことが望まれる。

今回、筆頭著者である荒木は、生まれて初めて Wall Cloud の形成・衰弱過程を目の当たりにすることができ、Wall Cloudの美しさに感動するとともに、知的欲求が大いに高まった。数値予報モデルによるシミュレーション研究や、レーダーによるリモートセンシング研究が進展している現代でも、実際の現象を自分自身で体験し、観測することの重要性を再認識した次第である。

## 謝辞

本研究では、環境省大気汚染物質監視システムの地上気象観測値を使用しました。気象研究所の小司禎教さん、林 修吾さんに有益なコメントをいただきました。天気編集委員会担当の藤部文昭さんにもアドバイスをいただきました。感謝申し上げます。

## 参考文献

- 荒木健太郎, 2014: 雲の中では何が起っているのか, ベレ出版, 343pp.
- Araki, K., H. Ishimoto, M. Murakami and T. Tajiri, 2014: Temporal variation of close-proximity soundings within a tornadic supercell environment. SOLA, 10, 57-61.
- Brooks, H. E., C. A. Doswell III and J. Cooper, 1994: On

- the environments of tornadic and nontornadic mesocyclones. *Wea. Forecasting*, **9**, 606-618.
- Bunkers, M. J., B. A. Klimowski, J. W. Zeitler, R. L. Thompson and M. L. Weisman, 2000: Predicting supercell motion using a new hodograph technique. *Wea. Forecasting*, **15**, 61-79.
- Doswell, C. A., III and D. W. Burgess, 1993: Tornadoes and tornadic storms: A review of conceptual models. *The Tornado: Its Structure, Dynamics, Prediction, and Hazards*, *Geophys. Monogr.*, **79**, Amer. Geophys. Union, 161-172.
- Markowski, P. M. and Y. P. Richardson, 2009: Tornadogenesis: Our current understanding, forecasting considerations, and questions to guide future research. *Atmos. Res.*, **93**, 3-10.
- Markowski, P. M. and Y. P. Richardson, 2010: Mesoscale Meteorology in Midlatitudes. John Wiley & Sons Ltd., 407pp.
- Markowski, P. M., J. M. Straka and E. N. Rasmussen, 2002: Direct surface thermodynamic observations within the rear-flank downdrafts of nontornadic and tornadic supercells. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 1692-1721.
- Thompson, R. L., 1998: Eta Model storm-relative winds associated with tornadic and nontornadic supercells. *Wea. Forecasting*, **13**, 125-137.
- Thompson, R. L., R. Edwards, J. A. Hart, K. L. Elmore and P. Markowski, 2003: Close proximity soundings within supercell environments obtained from the Rapid Update Cycle. *Wea. Forecasting*, **18**, 1243-1261.
- Trapp, R. J., G. J. Stumpf and K. L. Manross, 2005: A reassessment of the percentage of tornadic mesocyclones. *Wea. Forecasting*, **20**, 680-687.
-