

つくば竜巻: 二重偏波レーダーによる実態解明

○山内 洋、小司禎教、佐藤英一、足立アホロ(気象衛星・観測システム研究部)、
益子 渉(予報研究部)

1. はじめに

2012年5月6日、国内の記録では最強クラスである藤田スケールF3の竜巻がつくば市を襲った。第1表は、日本で近年発生したF3の竜巻をまとめたものである。発生頻度は5~10年に一度と少なく、継続時間は短く、被害域は局所的だ。しかし一度発生すればその被害は甚大である。建造物などを強い竜巻に耐えられるように作るとは現実的には不可能であるため、被害の軽減には監視・直前予測の情報に基づいた避難が有効である。

しかしながら、現状の直前予測情報の精度は高くはない。竜巻の、空間スケールが小さいこと、継続時間が短いこと、発生頻度が少ないことに起因し、観測が困難で、実態・発生メカニズムがよくわかっていないためである。例えば、気象庁は、20kmごとに風速計を設置しているが、竜巻を捉えたことは一度もない。気象レーダーは遠隔で観測できるために、竜巻の観測には適している。しかし、これまで国内においてF3クラスの強い竜巻を詳しく観測できたことはなかった。

つくば竜巻に対しては、気象研究所の二重偏波レーダー(以下、気象研レーダー)によって、竜巻から約15kmの比較的近距離から、その親雲だけでなく竜巻近傍における風の流れや飛散物を捉えることができた。このレーダー観測からわかったつくば竜巻とその親雲の実態について述べる。

2. 気象研究所・二重偏波レーダーによる観測

気象研レーダーは、水平および垂直方向に偏波した電波を同時に送受信できる最新の二重偏波観測機能を有する。従来型の気象ドップラーレーダーは、水平偏波のみを送受信し、受信波の強さから雨の強さ(反射強度)を、周波数から雨粒の動き(ドップラー速度:レーダーに向かって近づく、あるいは遠ざかる速さ)を測定する。これらに加えて、二重偏波レーダーは、水平と垂直の受信信号の相違から、散乱体の形と種類も推定できる。

レーダーからの1回の電波の発射で観測できるのは、幅約1°の電波ビームに沿った領域だけである。そこでレーダー周囲の雨雲を捉えるため、アンテナを、仰角を少しずつ変化させながら回転させて空のさまざまな方向に向ける。こうして、気象研レーダーでは、4分毎に、半径150km圏内の雨雲の3次元分布を捉えることができる。



第1図 つくば竜巻(糸永員偉氏撮影)

第1表 日本で近年発生したF3の竜巻

| 年月日 | 主な被害地 | 被害長 | 被害幅 | 継続時間 |
|------------|-------|-------|-------|------|
| 1990.12.11 | 茂原市 | 6.5km | 1200m | 7分 |
| 1999.09.24 | 豊橋市 | 18km | 550m | 23分 |
| 2006.11.07 | 佐呂間町 | 1.4km | 300m | 1分 |
| 2012.05.06 | つくば市 | 17km | 500m | 18分 |

3. 竜巻の親雲

レーダー観測によってつくば竜巻の親雲はスーパーセルであることがわかった。スーパーセルは、大きなセル(上昇流と下降流の対)によって構成され、その上昇流域に鉛直軸まわりの強い渦(メソサイクロン)がある、特殊な積乱雲である。発生は稀であり、日本における発生頻度はわかっていない。強い竜巻のほとんどがスーパーセルによって引き起こされており⁽¹⁾、竜巻の有力な予兆現象である。しかし、常に竜巻を引き起こす訳ではなく、竜巻を引き起こすメカニズムも解明されていないため、竜巻の直前予測を難しくする要因の1つとなっている。

第2図は、12時43分における、地表から高度約100mの気象研レーダーの観測結果である。第2図(a)の中央、反射強度の高い領域が親雲の下降流域である。そこから南西に向かってフック状にのびる反射強度のやや弱い領域がフックエコーと呼ばれる構造であり、その内側の反射強度が弱い領域に親雲の上昇流域が存在する。上昇流域の上空には、強い渦を示すドップラー速度が観測されており(図略)、この親雲がスーパーセルであることを示している。この親雲の高さは、11kmを超えていた。

4. 竜巻の構造

第2図(b)のドップラー速度分布図には、風速が 40ms^{-1} 程度、反時計回りで、数100mスケールの竜巻に伴う渦が、フックエコーの先端部に捉えられている。地表の被害から推定される最大風速(70ms^{-1} 程度)および直径(100m程度)とは異なるが、レーダーの空間分解能(150m)が竜巻の直径と同等のスケールであるため測定値が鈍ること、レーダービームの中心高度が約100mと地表から離れていることが原因と考えられる。この渦は少なくとも高度4kmまで達しており(図略)、渦が鉛直方向に長く引き伸ばされたことがわかる。

この渦の位置では、雨粒とは異なる、特徴的な二重偏波情報が得られた。第2図(c)の偏波間相関係数は、0.8以下の低い値となっている。このことは、レーダーの電波を散乱した散乱体の一様性が低いことを示しており、散乱体が雨粒ではなく地上から巻き上げられた飛散物であった可能性を示唆する。実際、第1図では、竜巻によって地上からものが飛散していることが確認できる。また散乱体の扁平さを表す反射因子差(第2図(d))は0dBに近い値(球に相当)となっている。竜巻が巻き上げた飛散物は多様な形状をしているので一見矛盾しているが、飛散物が竜巻の激しい風を受けてぐるぐる回転しながら飛んでいるために、結果として球体と同様の反射因子差を示すと考えられる。これら竜巻飛散物の二重偏波情報の特徴は、Ryzhkovらの報告⁽²⁾と整合的である。

二重偏波による竜巻飛散物の到達高度は時間とともに上昇し、少なくとも高度3kmまで確認できる(図略)。このことは、竜巻の上昇流の強さを示すと同時に、二重偏波レーダーによって竜巻飛散物を遠方から検出できることを示唆している。ドップラー速度分布から竜巻渦を精度良く検出するには、方位方向に並んだ極大と極小のペアを見つけるために渦のスケールよりも細かい分解能の観測が必要である。しかし飛散物を使えば極大と極小のペアを見つける必要がないため、より粗い分解能で認識できる。その上、飛散物が高高度まで達する

ならば、より遠方から竜巻の検出が可能になると考えられる。

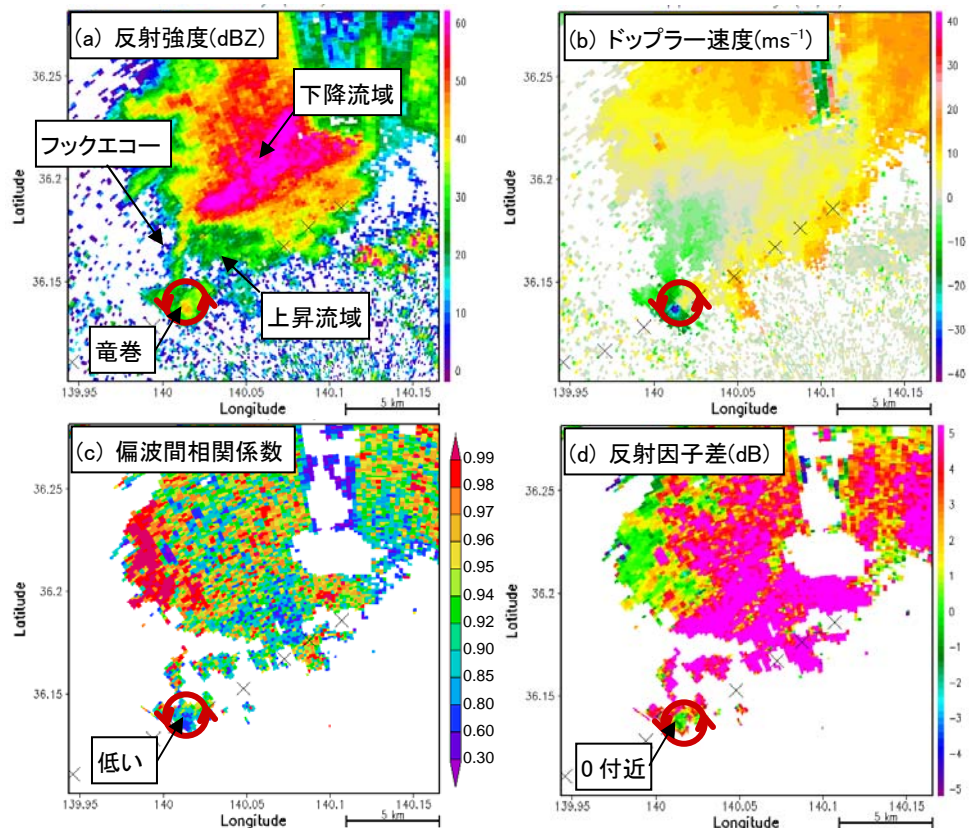
5. まとめ

つくば竜巻とその親雲を、比較的近距离から二重偏波レーダーで観測した。その結果、親雲がスーパーセルであること、竜巻の渦が少なくとも高度4kmまで達していること、二重偏波を用いて地表から巻き上げられた飛散物を検出できること、飛散物が高度3kmまで達していることがわかった。今後、さらに解析を進めてスーパーセルにおける竜巻発生メカニズムを調査するとともに、二重偏波を利用した竜巻自動検出アルゴリズムを開発し、竜巻の監視・直前予測技術の高精度化を図る予定である。

参考文献

- (1) Markowski, P., and Y. Richardson, 2010: Mesoscale Meteorology in Midlatitudes. Wiley-Blackwell, pp213.
- (2) Ryzhkov, A. V., T. J. Schuur, D. W. Burgess and D. S. Zrnica, 2005: Polarimetric tornado detection. J. Appl. Meteor., 44, 557-570.

※本研究は、重点研究「シビア現象の監視及び危険度診断技術の高度化に関する研究(H21~25)」(主任研究者:楠 研一、研究分担者:小司 禎教、山内 洋、佐藤 英一、猪上 華子、斉藤 貞夫(気象衛星・観測システム研究部)、益子 渉、林 修吾(予報研究部))の一環として行われた。



第2図: 気象研レーダーの観測結果(12時43分、高度約100m)。レーダーは右下方向に位置。×印は主な被害地点。