

竜巻等突風の探知

—フェーズドアレイレーダーが切り拓く世界—

楠 研一（気象衛星・観測システム研究部）

1. はじめに

近年、竜巻等突風・雷・局地的大雨など激しい大気現象（顕著現象）による災害が多く報告されている。顕著現象は極めて狭い範囲（～10km）で発生し短時間（～10分）で急激に発達する。そのため時としてほとんど前触れなく遭遇することになり、回避する時間的な余裕がなく想像を超える大きな被害につながる。例えば平成24年5月6日に茨城県つくば市、平成25年9月2日に埼玉県越谷市から千葉県野田市にかけて発生した竜巻は、住宅街などを通り抜け、多くの被害が出た。これら被害を防止・軽減するには突風をいち早く探知し予測することが重要であるが、アンテナを機械的にスキャンさせる従来の気象レーダーでは、局所的に発生し急激に発達する現象の全貌を把握することが困難で、それがさらなる減災や影響の回避を妨げている。そのため極めて高いスキャン性能をもつレーダーを用いた探知システムの実用化が求められている。今回の発表では、気象研究所に導入を進めているフェーズドアレイレーダー（Phased Array Radar）の整備概要を説明するとともに、今後このレーダーを用いた竜巻等突風の自動探知・追跡技術に関連する最近の知見を紹介する。

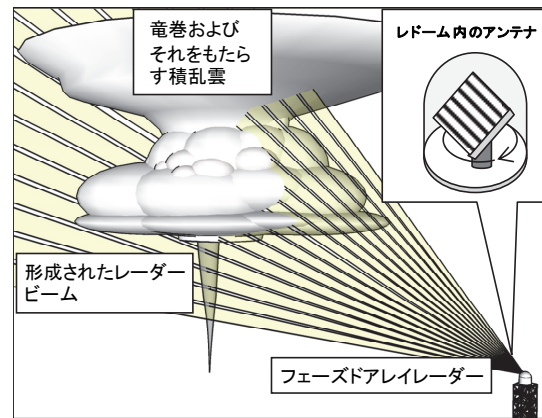
2. フェーズドアレイレーダーの整備概要

気象研究所では、フェーズドアレイレーダーの整備を平成26年度から進めており、平成27年度当初に観測を開始する予定である。方位角方向は従来のレーダーと同じ機械式回転であるが、仰角方向は1次元アレイとDBF（Digital Beam Forming）と呼ばれる電子走査の方法を導入することでスキャン時間を飛躍的に短縮できる、つまり高速スキャンが可能になる。基本諸元を表1に示す。30秒間隔で半径60km（10秒間隔で半径24km）の範囲での雨風の分布を3次元的に超高速で観測できるため、顕著現象をもたらす積乱雲の急激な様相の変化をとらえることが可能である。

気象研究所のフェーズドアレイレーダーがカバーする関東平野は竜巻による突風や局地的大雨が発生しやすいことから、今後これらの現象が発生した場合、フェーズドアレイレーダーによる詳細な観測データを取得する予定である。

第1表 フェーズドアレイレーダーの基本諸元

項目	諸元
波長帯	Xバンド
空中線形式	鉛直1次元 フェーズドアレイアンテナ
水平回転速度	最大6rpm
垂直走査範囲	0～90度
距離分解能	100m
方位分解能	1度
観測範囲	最大半径60 km



第1図 フェーズドアレイレーダーによる観測イメージ

3. 竜巻等突風の自動探知・追跡技術の開発

フェーズドアレイレーダーを用いた竜巻等突風の自動探知・追跡技術の開発には以下の2項目が必須である。

- ① フェーズドアレイレーダーで竜巻やそれをもたらす積乱雲を観測し、詳細な3次元構造と時間変化を把握すること。
- ② ①に基づき、竜巻等突風や関連するパターンをフェーズドアレイレーダーのエコーから抽出・追跡できるようにすること。

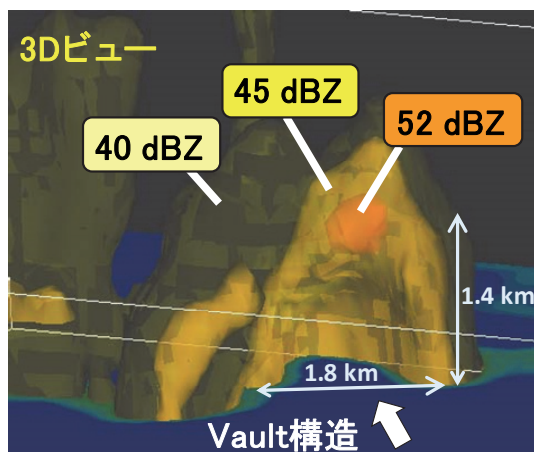
①においては、従来の2次元的なレーダーデータとは異なる解析の方法が求められる。気象研究所のフェーズドアレイレーダーの観測は現在整備中であるため、3.1節では、大阪大学吹田キャンパスで先行して平成24年6月に運用を開始したフェーズドアレイレーダー(Ushio et al. 2015)を用いた竜巻3次元解析のフィジビリティ研究を紹介する。

②に取り組むのは①ができてからとなる。竜巻は鉛直方向に伸びた渦管であることから、局所的に回転する気流をレー

ダーエコーから抽出し追跡することが要素技術のコアとなる。気象研究所は、山形県庄内平野に高密度観測網を構築し、突風の発生メカニズム解明の研究を行っている。これまでの研究から、地上被害をもたらさない程度の弱い竜巻を示唆する渦状突風がこの地域で冬季に多く発生することがわかっている。これら豊富な事例による渦状突風のレーダーデータを用いた要素技術の開発について 3.2 節で紹介する。

3.1 竜巻3次元解析のフィージビリティ研究

大阪平野は竜巻等突風の発生が統計的に極めて少なく、大阪大学に設置されたフェーズドアレイレーダーでは、竜巻に伴う3次元データはまだ得られていない。しかし、竜巻と類似の気流構造を持つ積乱雲内の鉛直渦をレーダーデータから抽出することに成功し、得られたデータから詳細な3次元構造と時間変化をとらえることができた。解析の結果、この渦は風の向きや速さが鋭く変化する場所(水平シア)で発生した反時計回りの回転を持ち、竜巻をもたらすスーパーセルで特徴的なヴォールト構造と呼ばれる丸天井のような形状を伴っていたこと(第2図: 反射強度の3次元構造)、さらに、それらの構造が周囲の気流構造と連動して消長する様子が明らかになった。このフィージビリティ研究により、竜巻が発生する不安定な大気に限らず中立大気中にも顕著な渦・ヴォールト構造が発生するという新しい知見も得られ、高いスキャン性能を持つフェーズドアレイレーダーの有効性が示された(足立ほか 2014)。

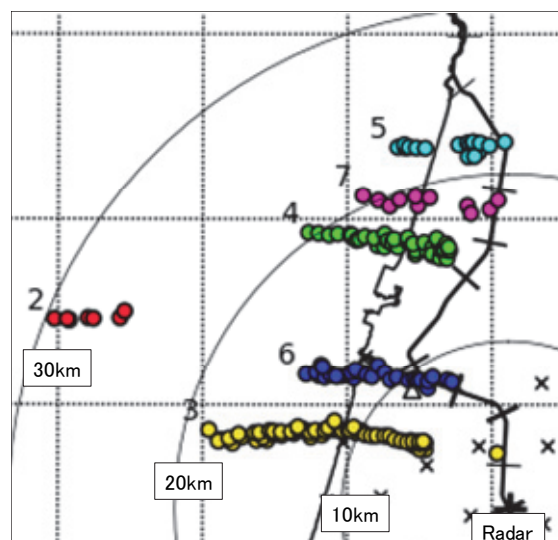


第2図 フェーズドアレイレーダーで示された渦に伴うヴォールト構造の3次元動態(反射強度)

3.2 要素技術の開発 一渦の自動探知・追跡一

開発中の竜巻渦の自動探知・追跡手法について、山形県庄内平野の高密度観測網のレーダーによる適用例を第3図に示す。レーダーは低仰角に固定し30秒1回転の頻度で観測している。2次元的な観測しかできない制約があるものの、スキ

ャンに5~10分かかかる通常の気象レーダーより時間分解能を高くした観測が可能で、フェーズドアレイレーダーのような高速スキャンレーダーによる高頻度の観測を想定したものとなっている。この例は、線状降水帯に埋め込まれている非スーパーセルタイプの7個の渦(第3図中は6個)を個別に探知し、追跡することに成功したことを示している(楠ほか2014)。



第3図 自動探知・追跡アルゴリズムにより探知・追跡された渦列(平成19年12月31日 03:38:26-04:23:05JST)。探知された渦 No2-7 までを色別に●印で示す。

4. 今後

今回紹介したような知見や技術を発展させ、フェーズドアレイレーダーの3次元エコーパターンから竜巻等突風を探知・追跡する技術の開発をさらに進めていく予定である。それにより、重大な災害をもたらすおそれのある顕著現象の直前予測手法の高度化などを通じて、気象庁が発表する防災気象情報の改善に貢献することが期待される。

参考文献

- 足立 透, 楠 研一, 吉田 智, 猪上華子, 新井健一郎, 藤原忠誠, 牛尾知雄, 2014: フェーズドアレイレーダー観測データを用いた積乱雲内の渦の3次元解析処理の試み, 日本気象学会 2014 年度秋季大会 B111.
- 楠研一, 吉田智, 足立透, 猪上華子, 藤原忠誠, 2014: フェーズドアレイレーダーによる竜巻等突風・局地的大雨探知のための研究計画, 日本気象学会 2014 年度秋季大会 B110.
- Ushio, T., T. Wu, S. Yoshida, 2015: Review of recent progress in lightning and thunderstorm detection techniques in Asia, *Atmos. Res.*, **154**, 89-102, doi:10.1016/j.atmosres.2014.10.001, 2015.3 (Invited Review Paper).