

# 突風を探知する

楠 研一  
 気象研究所  
 (台風研究部 主任研究官)

猪上 華子  
 同  
 (気象衛星・観測システム研究部 研究官)



くすのき けんいち いのうえ はなこ

## はじめに

航空機や高速鉄道などの交通システムへの自然災害の1つに突風災害があります。突風災害は人命のみならず莫大な経済的な損失をもたらすため、対策は重要な課題です。一方で、突風の的確にとらえることはたいへん難しいといえます。突風は破壊的な力をもつ反面、規模が小さく寿命も短いため、鉄道沿線の運行規制用風速計や一般の気象観測網をすり抜ける可能性が高いためです。したがって突風の探知には、広範囲の風を、面的にかつ短い時間周期で連続的に計測することが必要になってきます。ドップラー気象レーダーは、アンテナを円周上にスキャンしながらその周辺の広域の雨や風の分布をモニターできるため、突風探知に最も適した機器と考えられます。本稿では、気象庁で

実用的に運用されているドップラー気象レーダーについて説明し、さらに私たちの行っている鉄道安全運行のための研究の取り組みを紹介します。

## ドップラー気象レーダーの原理

雨や雪は電波を反射する性質を持っています。ドップラー気象レーダーはパラボラアンテナからビーム状の電波(マイクロ波)を発射して、電波が雨や雪から反射されて戻ってくることを利用して気象観測を行います(図1)。パラボラアンテナを回転させ、発射した電波がエコーとして戻ってくる方位と時間から雨や雪の位置を、エコーの強さから雨や雪の強さを知ることができます。さらにエコーの周波数の偏差「ドップラー効果」を利用すれば、雨や雪の

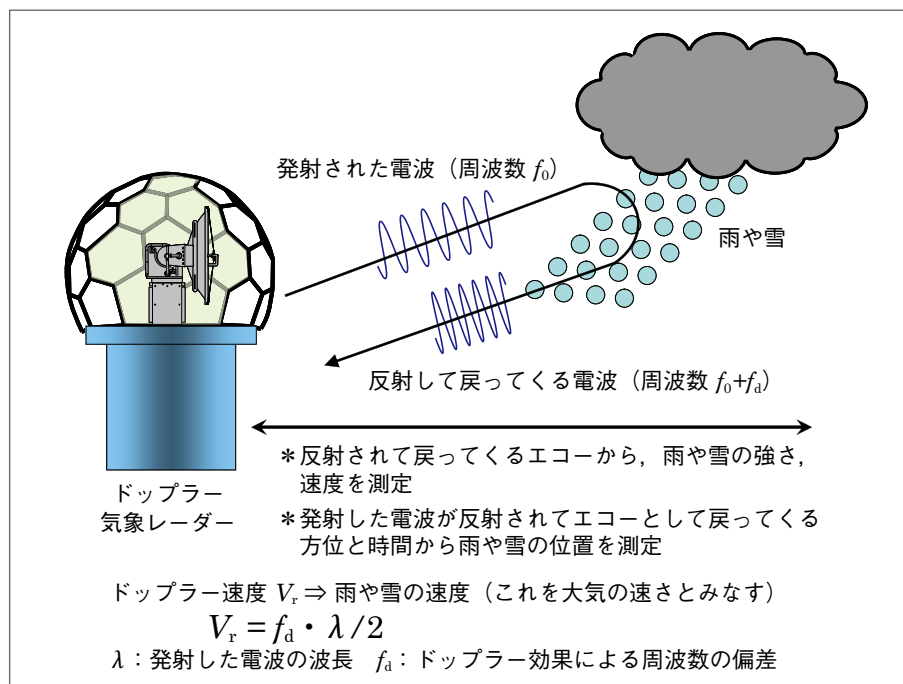


図1 ドップラー気象レーダーの原理

速度情報（これを大気の速さとみなす）を算出できます。ドップラー効果は、近づいて来る車のサイレン音は高く聞こえ、遠ざかる時は低く聞こえるという、音（音波）の身近な現象として体験できるものです。この性質は電波についてもあてはまり、雨や雪がレーダーに近づいている場合はエコーの周波数が高くなり、遠ざかる場合には周波数が低くなるという性質があります。ドップラー気象レーダーはこの性質を利用して風を測定しています。

## 突風の探知や予測に利用される ドップラー気象レーダー

### (1) 空港気象ドップラーレーダー

空港気象ドップラーレーダーは、わが国を代表するドップラー気象レーダーで、現在は国内の8つの主要空港で運用されています<sup>1)</sup>(図2)。

航空機の運航に支障を与える大気現象には、乱気流、雷、着氷、低層ウインドシアなどがあります。そのうち、空港気象ドップラーレーダーがターゲットにしているのは低層ウインドシアとよばれる地面付近の風の急変域(突風の一種)です。そもそも航空機は大気と機体との速度差で揚力を作っています。離着陸しようとしている航空機は失速速度近くであるため風の急変の影響は大きく、墜落にいたってしまうこともあります。風の急変を発生させる代表格はダウンバースト(雷雲で生じる強い下降気流)で、地面付近で水平方向に強く発散し、風の急変を発生させます。米国ではダウンバーストなど風の急変による事故で1964年から1982年にかけて488名の死者が出ています<sup>2)</sup>。

空港気象ドップラーレーダーは、空港に離着陸する航空機に影響を与えるこれら風の急変を自動検出しています。ウインドシアが、滑走路およびその近傍にあらかじめ設置された警戒領域に発生すると、発生時刻、シアの大きさ、発生場所が探知され(図3)、それらを示すため自動作成されたウインドシア情報文などが管制官からパイロットに伝えられ、航空機の安全運航に寄与しています。



図2 那覇空港の空港気象ドップラーレーダー

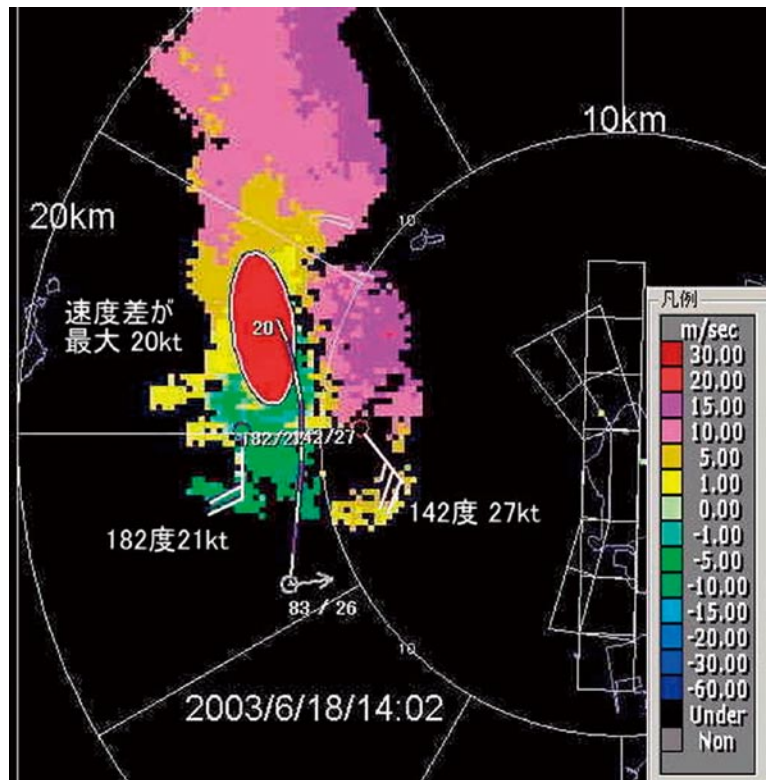


図3 空港気象ドップラーレーダーで観測されたマイクロバーストとシアラインの表示例(那覇空港)

楕円がマイクロバーストの範囲を示す。

楕円の数字は、楕円内の最大風速差を示す(単位:ノット)。

曲線はシアラインの位置を示す。

凡例はドップラー気象レーダーで測定した風速(ドップラー速度)を示す。

(+: レーダーから遠ざかる速度, -: レーダーに近づく速度)

## (2) 竜巻注意情報

気象レーダー網のドップラー気象レーダーを突風予測へ利用しているのが「竜巻注意情報」です。これは2006年9月の宮崎県延岡市、同年11月の北海道佐呂間町を襲った竜巻などを契機とした、竜巻を含む突風に対する短時間の予測情報です。この予測情報は、竜巻の発生頻度が高いといわれている、発達した積乱雲の中に存在する直径数km～十数kmの局地的な低気圧のデータや数値予報などを活用したものです。発表から1時間を情報の有効期間として、



図4 余目駅に設置されているJR東日本のドップラー気象レーダー

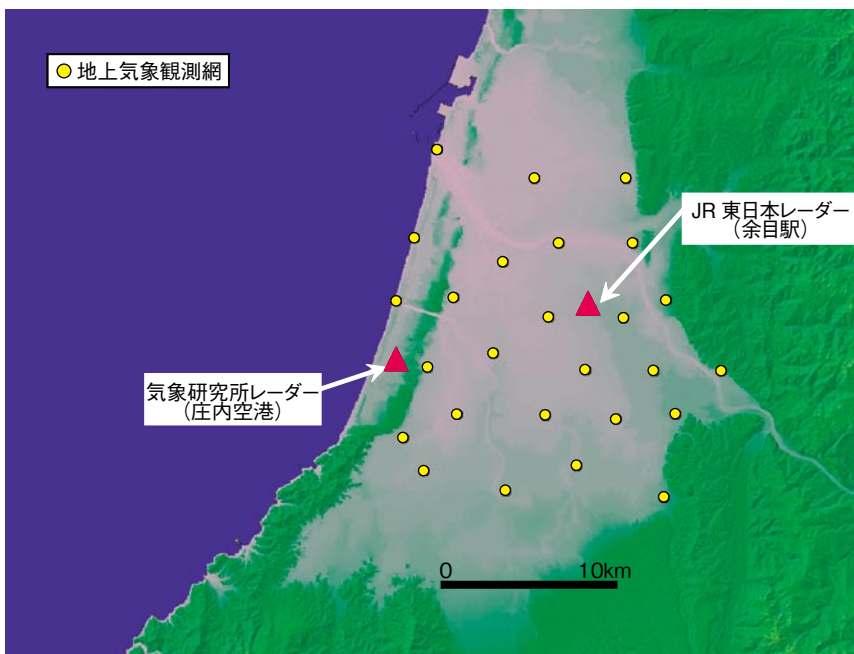


図5 庄内平野(山形県)の突風観測網

比較的広い領域(概ね一つの県)を対象に発表します。

## 鉄道安全運行のための突風探知にむけて

### (1) 山形県庄内平野での突風観測網

竜巻注意情報は、比較的広い範囲を対象とした、突風の起きやすい気象状況に関する情報です。その一方で竜巻に代表される突風はずっと小規模・短寿命です。例えば竜巻本体は、直径は100m程度、寿命は10分程度といわれています<sup>3)</sup>。鉄道の安全運行をおびやかすこれらの突風に伴うパターンをレーダーによってピンポイントで探知できないだろうか? そう思って私たちは、2007年秋から鉄道安全運行にドップラー気象レーダーを利用するための基礎研究に取り組んでいます。

小規模・短寿命である突風を観測できる機会は極めて限られますので、詳細な研究例はたいへん少なく、実態はあまりわかっていません。そこで私たちはまず突風発生の実態を本格的に調べることから始めました。そのため、すでにJR東日本が突風研究用のドップラー気象レーダーを設置した庄内地方に突風観測網を構築して観測を続けています(図4、5)。

観測で得られた突風の実例として、2007年12月2日に酒田市内で車庫のシャッターや倉庫のトタン屋根を飛ばす被害を出した突風について紹介します<sup>4)</sup>。

当日は弓状に曲がった大きな積乱雲のかたまりが、日本海を東進して庄内平野を通過していました。この大きな積乱雲の内部を、30秒間隔という高い時間分解能で大気下層を観測しているJR東日本のドップラー気象レーダーのデータで詳細に解析した結果、日本海上にあった積乱雲の中で4つの渦(マイソサイクロンと呼ばれる)が発生しているのがわかりました。うち2つの渦が庄内平野に上陸し、1つは被害が起きた時間に現場を通過して

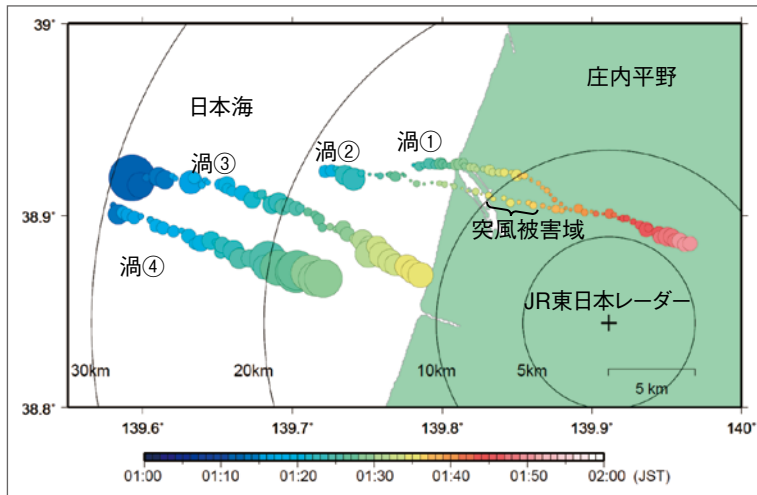


図6 JR東日本レーダーで見出された積乱雲の内部の4つの渦(マイソサイクロン)  
日本海上に発生し庄内平野へ向かって移動する様子を30秒間隔で示す。円の大きさは渦の大きさ、円の色は時刻に対応する。

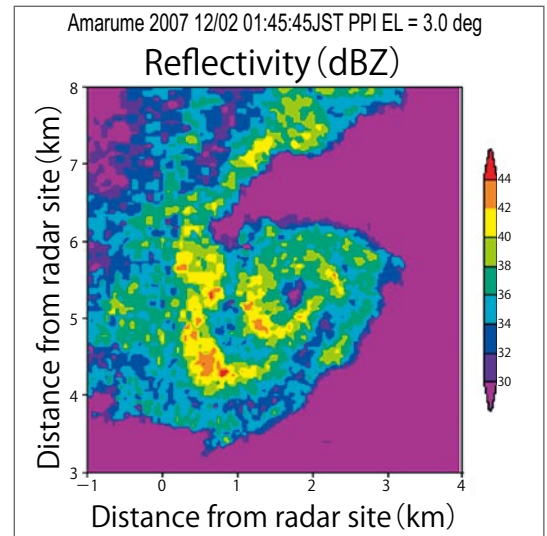


図7 JR東日本レーダーで見出された積乱雲の内部の渦(マイソサイクロン)の拡大図  
明瞭なスパイラル状になっており、中心付近には眼のような構造が見られた。

いました(図6)。渦の寿命は10-30分程度、渦の直径は数百mから4kmで、最も持続時間が長く、最も渦度(流れの回転を表す量で、接線速度/渦の半径)が大きい渦(図6の渦②)は、最盛期の渦の直径は300m、接線速度15m/s、渦度は $10^{-1} \text{ s}^{-1}$ のオーダーとわかりました。JR東日本のドップラー気象レーダーで観測された渦②を拡大すると、明瞭なスパイラル状になっており、中心付近は眼のような特徴が見られました(図7)。この渦の経路は地上の突風被害域とよく一致し、また渦が被害域にさしかかった時間も一致しているため、積乱雲の中の渦②が地上付近で竜巻を起こした可能性が高いと考えています。このような事例が積み重なれば、上空の渦と地上の突風との関係の検証が可能になり、結果として突風探知の技術につながる事が期待されます。

## (2) これからの取組み

これまでにさらに複数の突風が見つかっており、今回の事例解析を皮切りに、これから日本海側の突風の実態の解明が進んでいくと考えています。一方、ドップラー気象レーダーによる突風探知という将来的な目標のためには、多くの研究ステップを踏まねばなりません。はたしてレーダーで突風のどの部分が見えて、どの程度の情報をとりだせるのか、レーダーの探知能力の評価はこれからの課題です。広範囲のレーダーデータから自動的に突風にとまなう

パターンを認識してそれを追跡する、そのアルゴリズム開発と実証試験も必要になってきます。現在、今回紹介した渦データを用いて、自動認識の予備的な試験を始めているところです。このような研究を積み重ねていくことにより、将来的には突風がドップラー気象レーダーで事前に探知され、鉄道の安全運行に役立つ日が来ることを信じています。

## 謝辞

本研究は独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構の「運輸分野における基礎的研究推進制度」事業により研究助成を受けています。[RRR]

## 文献

- 1) 石原正仁, 赤枝健治, 鈴木修: 空港気象ドップラーレーダー, 気象研究ノート, 200, 197-216, 2001
- 2) FAA: Terminal Doppler weather radar (TDWR): A briefing paper. 18pp. 1988
- 3) 新野 宏: 竜巻. 天気, 54, 933-936, 2007
- 4) Inoue, H., et al. 2008: High resolution X-band Doppler radar observation of low-level mesocyclones. -First result from the Shonai Area Railroad Weather Project.- Preprints, Fifth Conference on Radar Meteorology and Hydrology, Helsinki, 30 June - 4 July, 2008