

庄内平野で観測された突風をもたらす気象擾乱

* 猪上華子¹, 楠研一¹, 益子渉¹, 林修吾¹, 山内洋¹, 加藤亘², 荒木啓司³, 別所康太郎¹, 星野俊介¹
中里真久¹, 鈴木修¹, 今井俊昭³, 保野聡裕², 竹見哲也⁴, 福原隆彰³, 柴田徹³
(1:気象研究所, 2:東日本旅客鉄道防災研, 3:鉄道総合技術研究所, 4:京都大学)

1. はじめに

鉄道用突風探知システム開発に向けた研究(運輸分野における基礎的研究「小型ドップラー気象レーダーによる鉄道安全運行のための突風探知システムの基礎的研究」)の一環として、我々は2007年10月から山形県庄内平野一帯での突風の実態把握を目的として観測を実施している。

これまでの観測および解析結果から、2007年、2008年の冬季に観測された地上の突風の大部分が上空に数km以下のスケールの渦を伴っていたことが報告されている(楠他,2008; 下瀬他,2009)。また、レーダーで観測された上空の渦は、しばしば線状降雪雲内の渦列として観測されており、その発生環境場、構造や発生・発達過程を調べることは重要である。今回は、このような渦列の代表的な事例として、2007年12月31日に観測された事例について、突風をもたらした気象じょう乱とその環境場の特徴を中心に解析した結果を報告する。

2. 観測概要

図1に観測領域を示す。観測は、主に2台のXバンドドップラーレーダーと地上の自動気象観測装置を用いて行われた。JR東日本レーダーは常時JR余目駅に設置されており、下層の降水と風の様子を高い時間分解能でとらえるため、仰角3度のPPI観測を30秒間隔で行っている。一方気象研究所の可搬型ドップラーレーダー(以下、MRIレーダー)は冬季集中観測期間中のみ庄内空港の屋上に設置された。MRIレーダーは擾乱の立体構造を調べるため、約3分間隔で複数仰角のPPI観測(仰角1.5,4.5,7.5,10.5,13.5,16.5度)とRHI観測(方位角135,315度)を行っていた。

地上付近での突風の構造を調べるために、庄内平野一帯に約4km間隔で地上気象観測装置が26台設置された。それぞれの装置は約5mの高さの鉄のポールの上に設置され、風向、風速は1秒毎に、気温、湿度、気圧は10秒毎に観測を行った。

3. 突風をもたらした気象じょう乱と環境場

2007年12月31日の突風発生時、日本付近は冬型の気圧配置下で日本海上空には寒冷渦があった。東北地方の日本海沿岸では、主風向に直交するSSWからNNEの走向をもつTモードのライン状エコーが観測されていた(図略)。このうち、特に活発なライン状エコーの通過に伴って、地上気象観測網のB1地点で0405:49-50JSTに 25.0ms^{-1} の突風が観測された(図2、ただし家屋等への被害は報告されていない)。この突風に伴い地上風向はWSWからNWへ変化しており、約1h~2Paの気圧降下が観測されたが、顕著な気温変化は見られな

かった。

酒田測候所のWPRによる観測では、Tモードエコー観測時、下層2km以下では北よりの風、上層では南よりの風が卓越していたが、突風をもたらした活発なライン状エコーが通過する直前の20~30分間は下層でも南よりの風が観測されていた(図略)。また、庄内地上観測網による地上の風の場合は、このライン状エコーの前面でWSWからSW風、後面でWNWからNW風を示しており(図3)、2台のレーダーのドップラー速度場からも、このライン状エコーに伴う風場が明瞭な風の水平シア($\sim 10^{-3}\text{s}^{-1}$)と強い収束($\sim 10^{-2}\text{s}^{-1}$)を伴っていたことが分かった。

4. ドップラーレーダーで観測された渦の特徴

JR東日本レーダーの観測から、このライン状エコー内には、シアライン上に少なくとも5つの渦が同時に存在していたことが分かった。また、反射強度は、シアライン上の渦に対応した特徴的な弧状のパターンを示しており、水平シア不安定によって発達した渦によるシアラインの変形を示唆していた(図3)。

レーダーで観測された渦の特徴を調べるため、各PPIのデータからドップラー速度の極大・極小のパターンを手動で検出し、解析を行った。ここでは、極大・極小間の距離を渦の直径とし、極大・極小の差の半分の値を接線速度とした。解析された渦の特徴を表1に示す。これらの渦は、シアライン上に4~9km間隔で存在しており、寿命は長いものでも15分程度であった。ドップラー速度の極大/極小から見積もった渦の直径はいずれも数100mから2km、渦度は $10^{-1} \sim 10^{-2}\text{s}^{-1}$ のオーダー、回転方向はすべて低気圧性であり、ライン状エコーに伴う風の水平シアと対応していた。これらの渦はいずれも海上で発生し、その後東へ約 $12 \sim 17\text{ms}^{-1}$ で移動しており、このうち渦4の強風域側(移動速度と接線速度が強め合う側)がB1地点上空を通過した際、突風が観測されていた。

JR東日本レーダーによる観測から推定された、B1地点上空通過時の渦4の接線風速は 8.6ms^{-1} 、移動速度 13.5ms^{-1} で、最大風速は 22.1ms^{-1} と見積もられた。これは地上で観測された最大瞬間風速を説明可能な値であり、B1地点で観測された突風はこの渦によりもたらされたものであると考えられる。

MRIレーダーで観測された擾乱および渦の鉛直構造を調べた結果、エコー頂は高度5~6kmまで達しており、特に強いエコーは2~3kmまで達していた。擾乱内で観測された渦は下層から少なくとも高度約2.5kmまで達しており、直径や接線速度の特性は鉛直方向にあま

表 1: JR レーダーで観測された渦 1-5 の特徴を示す。それぞれの渦の寿命 (T), 平均移動速度の東西成分、南北成分 (V_x, V_y) および直径、接線速度、鉛直渦度の最小値-最大値を示す。

	1	2	3	4	5
T (s)	350	903	670	1048	146
V_x (ms^{-1})	14.0	13.9	12.7	12.3	17.4
V_y (ms^{-1})	0.5	-1.0	-0.3	-0.6	2.3
D (m)	300- 2100	300- 2900	600- 2100	200- 1800	400- 1500
V_t (ms^{-1})	4.7-8.7	6.3-8.5	7.1-9.5	7.0- 10.9	6.7-8.5
Vor (s^{-1})	0.01- 0.09	0.01- 0.12	0.01- 0.06	0.02- 0.16	0.02- 0.07

り変化が見られなかった。渦中心は鉛直方向にほぼ直立していた。MRI レーダーの近くで観測された 2 つの渦 (渦 2,3) に着目したところ、どちらもはじめは下層でのみ渦が観測され、時間がたつにつれて高い高度でも渦が観測されていたことが分かった (図略)。このことは、これらの渦が下層から上層へ発達したことを示唆する。またそれぞれの渦は下層から上層にかけていずれも反射強度の強い領域のキンクに対応しており、発達した対流によって渦が引きのばされていたことが示唆される。今後は、下層の風の場合からより詳細な解析を行う予定である。

5. まとめ

2007 年 3 月 31 日の午前 4 時過ぎ、活発な線状降雪雲の通過に伴い、地上で突風と気圧降下が観測された。線状降雪雲は顕著な水平収束を伴ったシアライン上で発達しており、エコー内には少なくとも 5 つの数 km 以下のスケールの渦が観測された。推定された渦の通過に伴う風速の最大値は地上で観測された最大瞬間風速と整合的であった。渦は反射強度の強い領域のキンクに対応して少なくとも高度 2.5km 程度まで達しており、発達した対流に伴って渦が引きのばされていたことが示唆される。渦の構造や時間変化について、今後より詳細に解析を行う予定である。

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る。

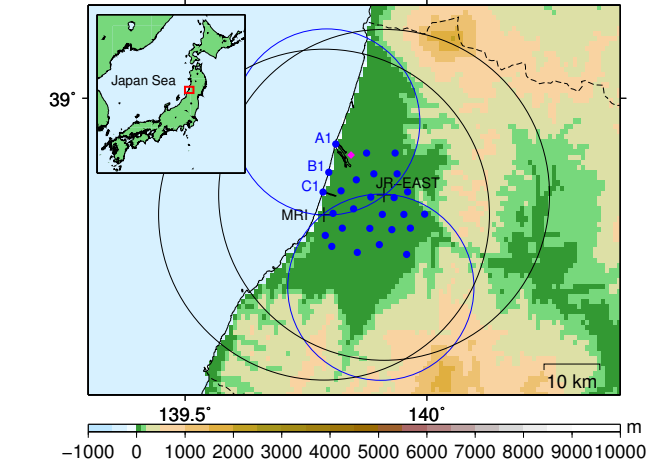


図 1: 観測領域を示す。JR-EAST,MRI と黒い円はそれぞれ JR 東日本レーダーと気象研レーダーの位置と 30km の観測領域を、青丸は地上気象観測装置の場所を示す。

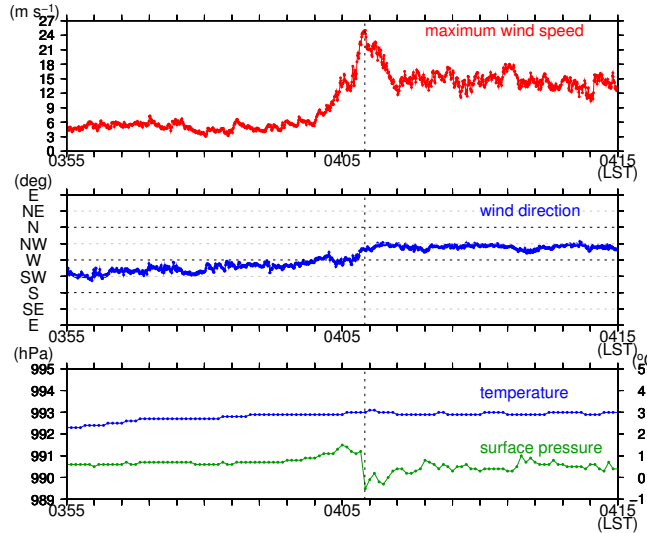


図 2: 庄内地上観測網 B1 地点 (図 1 参照) の地上気象観測データの時系列図。

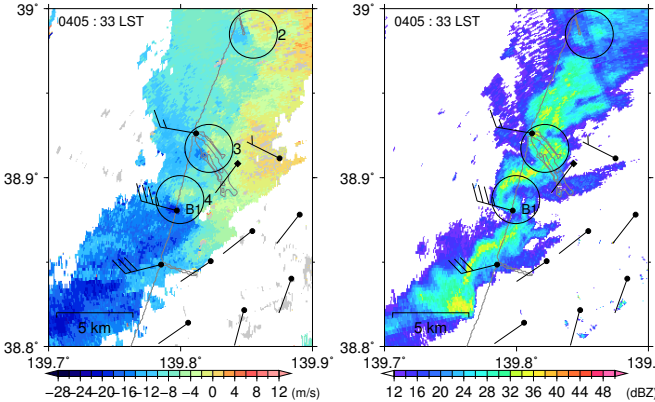


図 3: JR 東日本レーダー (領域の南東に位置) で観測されたライン状エコーとエコー内の渦 (円) に伴うドップラー速度 (左)、反射強度 (右) の分布。矢羽 (5ms^{-1}) は庄内地上気象観測網 (●) と酒田測候所 (■) による。