

ドップラーレーダーを用いた突風に対する列車運転規制方法の開発

東日本旅客鉄道株式会社防災研究所 正会員 ○鈴木博人 非会員 藤原忠誠
 気象庁気象研究所 非会員 楠 研一 非会員 猪上華子

1. はじめに

本研究では、2005年に発生した羽越本線における列車脱線事故の対策として、ドップラーレーダーを用いた突風に対する列車運転規制方法を開発した。この方法は、冬季の日本海側の突風に対して、Xバンドドップラーレーダーで突風に伴う上空の渦を探知・追跡して、突風が移動すると予測される範囲に線路が含まれる場合に、その区間の列車の運行を停止するものである。

2. 列車運転規制のフロー

冬季に日本海側で発生する突風に関して、山形県庄内平野に展開した気象観測網¹⁾などの観測データから得られた知見^{2,3)}などに基づいて、ドップラーレーダーを用いた突風に対する列車運転規制方法を開発した。この方法は、次の手順で実施する(図1)。(1)1台のドップラーレーダーで、上空のドップラー速度を観測する。そして、観測したデータの品質管理を実施する。(2)ドップラー速度データから突風に伴う上空の渦を探知する。この探知には、メソサイクロン検出アルゴリズム⁴⁾を改良した渦探知アルゴリズムを用いた。渦が探知されると、渦の最大回転速度(最大回転風速)を得ることができる。(3)渦が連続的に探知されると、その軌跡から渦の移動速度(移動風速)と移動方向を得ることができる。また、最大回転風速と移動風速の和から渦の最大風速を得ることができる。(4)渦の最大風速が基準値を超えて、その渦が進行すると予測される範囲に線路が含まれる場合に、その区間に列車運転規制を発令する。(5)列車運転規制が発令されると、列車指令員は渦が線路を横断すると予測される範囲の列車の運転士に運行停止を指示し、列車は速やかに停止する。この方法では、(1)から(4)のドップラーレーダーによる観測から列車運転規制の発令まで自動で行われる。

3. 列車運転規制基準

ドップラーレーダーを用いた突風に対する列車運転規制を実施するためには、列車運転規制を発令する突風の基準値と突風の移動予測範囲を設定する必要がある。

(1) 突風の基準

列車運転規制に用いる突風の基準値は、本研究の目的が2005年に発生した羽越本線の事故防止であることから、羽越本線の事故を発生させた突風を基に設定することにした。

航空・鉄道事故調査委員会⁵⁾は、2005年に発生した羽越本線の脱線事故の原因は突風の可能性が高いとしている。そし



図1 突風に対する列車運転規制のフロー

て、この突風の瞬間風速は40m/s程度と推定している。また、気象庁の突風データベースによると、この事故を発生させたのは藤田スケール(Fスケール)でF1スケールの突風で、その風速は約10秒平均風速で33~49 m/sである。このように、羽越本線の脱線事故の原因は突風の可能性が高く、その突風はF1スケールと考えられる。これらから、突風の基準値はF1スケールの突風の下限值である風速33m/sとした。

ドップラーレーダーで観測される上空の渦の最大風速は、猪上ほか²⁾によると地上の突風の最大風速とほぼ一致する。これから、列車運転規制はドップラーレーダーで観測される上空の渦の風速に基づいて実施することにした。

(2) 突風の移動予測範囲

突風の移動予測範囲は、上空の渦が移動すると予測される範囲である。この範囲は、10分後までに上空の渦が到達する恐れのある範囲とした。これは、突風が探知された後に、列車指令室から列車の運転士に通告し、列車が緊急停止するまでの時間として10分あれば十分と考えたためである。

突風の移動予測範囲は、石津ほか³⁾によると庄内平野における上空の渦は直線的に移動することから、連続して探知された渦の軌跡の外挿を基に設定した。図2には、突風の移動予測範囲を示す。距離方向は、上空の渦が10分間に移動すると予測される距離に、実際に渦が移動した距離と移動予測距離との差の標準偏差の2倍と渦の半径を加えた長さとした。方位方向は、実際に渦が移動した方位と移動予測方位との差の標準偏差の2倍に渦の半径を加えた方位とした。

4. 列車運転規制方法の評価

ドップラーレーダーを用いた突風に対する列車運転規制

キーワード：突風、渦、ドップラーレーダー、鉄道、列車運転規制

連絡先：〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2-479 TEL：048-651-2691 E-mail：h-suzuki@jreast.co.jp

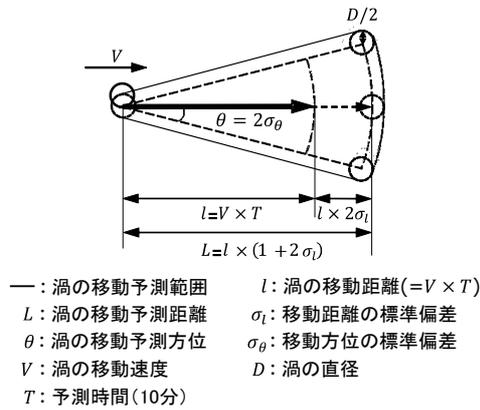


図2 突風の移動予測範囲の模式図

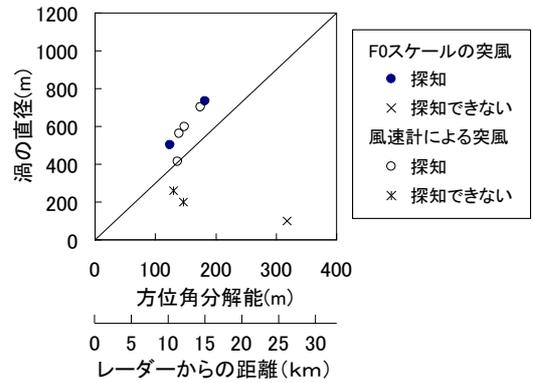


図3 突風の探知の可否と、レーダーの方位角分解能およびレーダーからの距離と渦の直径の関係。図中の直線はレーダーの方位角分解能と渦の直径が1:3になる値。

方法の性能を評価する。鉄道において自然災害に対する列車運転規制を行う際の基本は、自然外力により被る危険を十分に回避(安全の確保)した上で、列車の正常な運行を可能な限り確保(安定性の確保)することである⁹⁾。そこで、ドップラーレーダーを用いた突風に対する列車運転規制方法について、安全性と安定性の両面から評価した。安全性は、ドップラーレーダーで探知できた突風の事例数(突風捕捉数)で評価した。安定性は、ドップラーレーダーで渦として探知されたものが、実際に渦であった割合(適中率)で評価した。適中率が高いほど、実際には実施しなくて良かった列車運転規制を実施してしまう割合が低いことを意味する。

突風捕捉数は、突風の基準値がF1スケールの下限値の風速33m/sであることから、風速33m/s以上の突風を用いて評価するのが望ましい。しかし、余目駅にドップラーレーダーを設置して以降、このレーダーの観測範囲である30km以内でF1スケール以上の突風の発生はなく、風速計で最大風速33m/s以上の突風が観測された事例もなかった。そこで、突風捕捉数は余目駅レーダーから30km以内で2007/08年から2013/14年冬季(10月から3月)に発生したF0スケールの突風3事例と、庄内平野に展開した風速計で最大風速Vが30≦V<33m/sの突風が観測された6事例を用いて評価した。その結果、9事例のうち6事例を探知できた。このように、突風の基準値以下の階級に属するF0スケールの突風や風速計で最大風速が33m/s以下であった突風も探知できることが分かった。また、図3には、突風の探知の可否と、レーダーの方位角分解能およびレーダーからの距離と渦の直径の関係を示した。この図では突風を探知できた領域とできない領域に分かれ、渦の直径が方位角分解能の3倍程度以上であれば、このレーダーで渦を探知できると考えられる。また、F1スケール以上の竜巻に伴う上空の渦の探知性能について、XRAINと空港気象ドップラーレーダーの観測データを用いて評価した。評価には、近年日本で発生した顕著な竜巻事例として2012/5/6の茨城県常総市(F3)、2013/9/2の埼玉県さいたま市(F2)、2015/9/6の千葉県千葉市(F1)の3事例を用いた。その結果、本方法の渦探知アルゴリズムでいずれの竜巻に伴う上空の渦も探知でき

たことから、強い竜巻に伴う上空の渦を探知できると考えられる。

適中率は、突風の基準値以上の突風の移動予測範囲に、余目駅レーダーから30km以内の羽越本線の線路が含まれ場合のうち、実際に渦であった割合とした。この割合は、2007/08年から2013/14年冬季において81.9%と高かった。なお、この方法による同区間における運転中止時間を調べると、平均的には1年あたり2.2時間の運転中止が追加して実施されることが分かった。この時間数は、同期間に同区間において実施された強風に対する列車運転規制による運転中止時間の7.0%であった。

これから、この方法を冬季の日本海側の突風に対する列車運転規制方法として採用することにした。

5. 導入と今後

この方法は、11月から3月の冬季を対象に、日本海側の突風に対する列車運転規制方法として、2017年12月19日から羽越本線の五十川・女鹿間と陸羽西線の余目・清川間で使用開始した。これにあたり、庄内市黒森の葎葉山(標高50m)に高さ30mの鉄塔を設置した上で、XRAINと同等のXバンドドップラーレーダーを新設した。このレーダーは、余目駅のドップラーレーダーに比べて観測値の分解能が高く、周辺に遮蔽物のない環境に設置した。そのため、突風の探知性能は余目駅のレーダーに比べて向上していると考えられる。今後も、ドップラーレーダーによる突風の探知性能や精度の向上を行うことで鉄道の安全性をさらに向上して行きたいと考えている。

参考文献

- 1) 楠研一ほか,気象学会講演予講集,Vol.94,pp.139,2008.
- 2) 猪上華子ほか,気象学会講演予稿集,Vol.104,pp.70,2013.
- 3) 石津尚喜ほか,気象学会講演予講集,Vol.108,pp.373,2015.
- 4) Suzuki,O.etal,33rd Conf. on Radar Meteorology, 2007.
- 5) 航空・鉄道事故調査委員会,鉄道事故調査報告書「羽越線砂越駅～北余目駅間列車脱線事故」,98pp,2008.
- 6) 村石尚ほか,鉄道総研報告,Vol.9,pp.7-12,1995.