

ドップラーレーダーを用いた突風に対する列車運転 規制方法の開発と導入



藤原 忠誠*¹



鈴木 博人*²

Development of Train Operation Control Method Against Wind Gusts using Doppler radar

Chusei FUJIWARA*¹, and Hiroto SUZUKI*²

*¹ Researcher, Disaster Prevention Research Laboratory, Research and Development Center of JR EAST Group

*² Director (Disaster Prevention Research), Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

Train operation control against wind gusts using Doppler radar has been implemented in certain parts of the Uetsu Line and Rikuisai Line since December 2017 in order to improve rail safety. Furthermore, the implementation section of train operation control has been expanded from a radius of 30 km to 60 km from the radar since November 2019. Additionally, in order to improve accuracy of gust detection, gust detection method using AI has been implemented since November 2020. This paper explains these development and implementation.

●**Keywords:** Train operation control, Wind gust, Tornado, Doppler radar, AI

*¹JR東日本研究開発センター 防災研究所 研究員 *²JR東日本研究開発センター 担当部長(防災)

1. 緒言

2005年に羽越本線で発生した列車脱線事故の対策として、気象庁気象研究所と共同研究を実施し、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。開発した方法は、冬季の日本海側の突風に対して、ドップラーレーダーで上空の渦を探知・追跡して、突風が進行すると予測される範囲に線路が含まれる場合に、その区間の列車の運行を停止するものである。この方法は、2017年12月19日より山形県庄内平野に設置したドップラーレーダーから30kmの範囲に位置する羽越本線五十川・女鹿間と陸羽西線余目・清川間で使用開始した(鈴木ほか、2018)。また、2019年11月1日より、羽越本線では同60kmの範囲に位置する今川・西目間に運転規制区間を拡大した(藤原ほか、2020)。さらに、2020年11月1日には、新たに開発したAIを活用した突風の探知方法を導入することで、突風の探知精度を向上した。本報告では、気象庁気象研究所と共同研究で実施したこれらの開発と導入について概要を述べる。

2. ドップラーレーダーを用いた突風に伴う上空の渦の探知

竜巻などの突風は、大きな被害をもたらす自然災害の一つであり、列車の脱線や輸送障害をもたらすことがある。突風は空間スケールが小さく、鉄道沿線に離散的に設置されている風速計では、捉えることが難しい。このような突風に対して列車運転規制を行うためには、広範囲の風の動きを面的かつ短時間で連続的に観測できるドップラーレーダーを用いるのが適していると考えられる。

ドップラーレーダーでは、降水の観測に加えて、風に流される降水粒子から反射される電波のドップラー効果による周波数変化を利用して、レーダーに近づく風と遠ざかる風の成分を面的かつ短時間で連続的に観測することができる。突風に伴う上空の渦は回転性の風で、その風速分布は図1(a)のように渦中心から離れるにしたがって風速が急激に大きくなり、最大になった後、急激に低下し、その後緩やかに低下する。一方、ドップラーレーダーではレーダーに近づく風と遠ざかる風の成分のみが観測され、それに直交する方向の風速が観測されない。したがって、回転性の風である上空の渦は、ドップラーレーダーでは、図1(b)のようにレーダーから見て左右に隣り合う近づく風と遠ざかる風のピークのペアとして観測される。

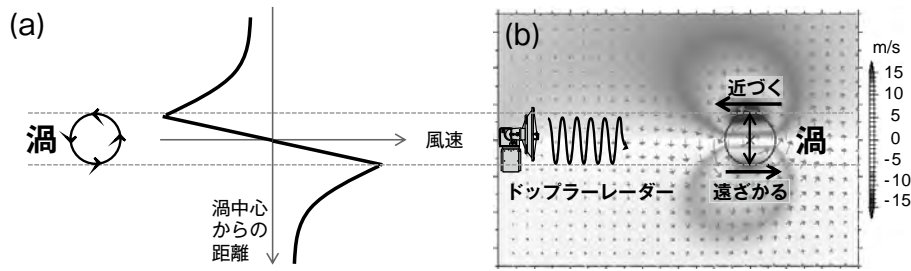


図1 渦が存在するときのドップラーレーダーで観測される風速分布

3. 列車運転規制方法の概要

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は、2017年12月19日に、冬季(11月～翌年3月)における日本海側の突風対策として実用化された(鈴木ほか、2018)。この方法は、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、突風が進行すると予測される範囲に線路が含まれている場合に、その区間の列車の運行を停止するものである。この方法は、次の手順で実施される(図2)。

- (Step1) ドップラーレーダーで、周辺の上空の風を約30秒間隔で観測する。
- (Step2) レーダー観測から、突風に伴う渦のパターンを探知するとともに、そのパターンから渦の回転風速を算出する。ここで、突風に伴う上空の渦の探知は、上空の渦の風速分布を2章で説明した特徴的な風速分布と仮定し、その風速分布からのズレが小さい場合に、渦を抽出している。
- (Step3) 約30秒間隔で探知された渦の位置に基づいて渦を追跡し、それらの位置情報から渦の移動速度と移動方向を算出する。さらに、Step2で得られた渦の回転風速と移動速度から渦のもたらす最大風速を算出する。
- (Step4) 算出された渦の最大風速が運転規制基準値を超え、さらにその渦の予測される進路に線路が含まれる場合に、その進路の範囲のすぐ外側にある駅と駅の区間に運転中止を発令する。
- (Step5) 運転中止が発令されると、輸送指令員はその区間に位置する列車の運転士に運行停止を通告し、列車は速やかに停止する。この方法では、(Step1)のドップラーレーダーによる観測から(Step4)運転中止の発令までが自動で行われる。なお、運転規制基準値は風速33m/s、突風が進行すると予測される範囲は、10分後までに上空の渦が到達する恐れのある範囲である。

この方法の導入にあたり、図3左に示すドップラーレーダーを山形県庄内平野に新設した。図3右は、本方法による列車運転規制の発令事例を示したもので、ドップラーレーダーで観測された上空の渦の位置、突風が進行すると予測される範囲、および運転中止区間が示される。

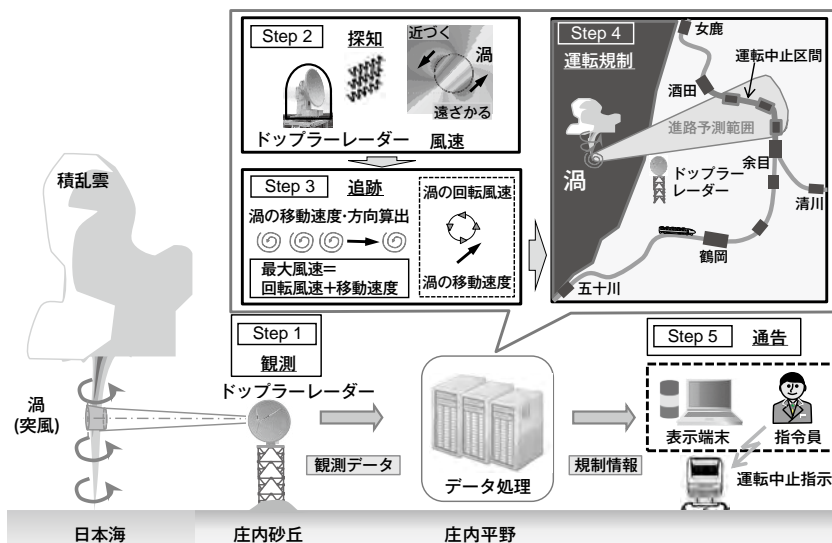


図2 ドップラーレーダーを用いた突風に対する列車運転規制の手順

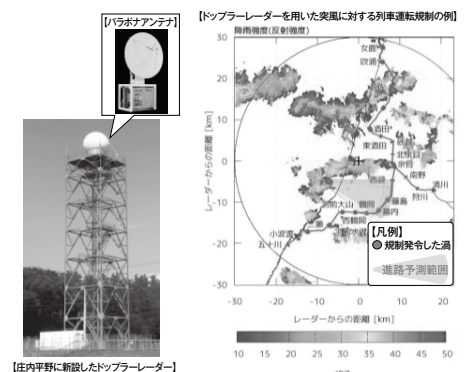


図3 山形県庄内平野に新設したドップラーレーダー(左)と本方法による列車運転規制の例(右)

4. 列車運転規制区間の拡大

山形県庄内平野に突風に対する列車運転規制のために新設したドップラーレーダーは、レーダーから半径60kmまでの範囲が観測可能である。一方で、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は、レーダーから半径30kmの範囲で実用化した。これは、余目駅に設置した観測半径30kmのドップラーレーダーで研究開発を用いて進めてきたことから、その実績のある範囲で実用化したためである。また、ドップラーレーダーは、レーダーから遠くなるほど観測データの空間分解能が低下し、突風に伴う上空の渦のパターンが捉えにくくなると考えられる。そのため、新設したドップラーレーダーの観測データを蓄積するとともに、レーダーから30km以上離れた範囲における突風の捕捉性能の解析を行ってきた(藤原ほか、2020)。

図4は、蓄積された観測データを用いて、突風の運転規制基準値である風速33m/s以上で、10分後までに線路に到達すると予測された上空の渦の探知位置、つまり運転中止が発令される渦の探知位置を試算したものである。これによると、レーダーから半径30kmの範囲に比べて、30kmから60kmの範囲で探知される渦の数が少なくなるものの、探知できる渦があることが分かった。そのため、列車運転規制を実施する範囲をレーダーから半径30kmまでの範囲から、半径60kmまでの範囲に拡大することで、列車運行の安全性を向上できることが分かった。

そこで、2019年11月1日より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の運転規制区間をレーダーから60kmまでの範囲に拡大し、羽越本線では今川・西目間がこの方法による運転規制区間となった。

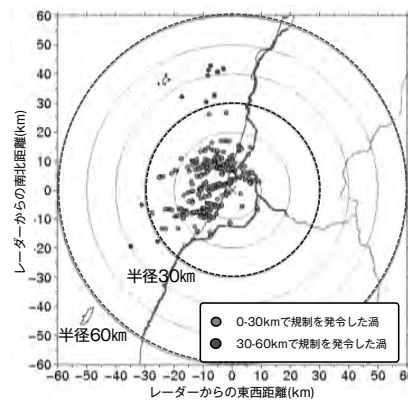


図4 列車運転規制が発令された上空の渦の位置の試算

5. AIを活用した突風探知方法による列車運転規制方法の開発

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は、ドップラーレーダーを用いて突風の原因となる上空の渦の探知と追跡を行い、渦の進路を予測し、その予測範囲に含まれる区間の運転を中止するものである。渦の探知精度向上のために、AIを活用した突風探知方法を気象庁気象研究所と共同で新たに開発した。

従来の渦の探知方法では、2章で記述したように、渦の特徴的な風速分布(図1)を仮定し、その風速分布からのズレが小さい場合に、渦として抽出している。この方法では、渦の周辺で風の乱れが多い場合や観測データにノイズがある場合に、仮定した渦の風速分布からの風速のズレが大きくなり、渦があるにもかかわらず、渦として抽出されず、渦を見逃すことがある。逆に、渦がないにもかかわらず、仮定した渦の風速分布に近い風速が観測されると、渦として抽出してしまう誤探知があるという課題があった。

そこで、渦の捕捉精度を向上し誤探知を軽減させる渦の探知方法として、「渦」と「渦でない」場合の画像をAIに学習させて、渦の抽出にAIを活用した方法を開発した。この方法では、まず専門家が、「渦」と「渦でない」場合の画像を判別し、学習用データを収集する(図5)。このとき、従来方法では見逃していた渦の事例と誤探知の事例を含めて画像を収集する。次に、収集した合計約3万7千個の学習用データをAIに学習させ、渦か渦でないかを判別するAIの学習済みモデルを構築する。この構築した学習済みモデルを用いて、ドップラーレーダーの観測データから渦をリアルタイムで抽出する(石津ほか2020)。この方法では、大量の学習データをAIに学習させるとともに、従来方法では見逃していた渦の事例と誤探知の事例をAIに学習させることで、渦の探知精度を向上できる。

図6にAIの活用による突風の探知精度の向上事例を示す。図6の地点Aのように、従来方法では見逃した渦について、AIを活用した方法では捕捉できるようになり、渦の捕捉精度が向上していることが分かる。また、図6の地点Bのように、従来方法では誤探知であったものが、AIを活用した方法では、渦として探知しておらず、誤探知が軽減することが分かった。このように、AIを活用した突風の探知方法は、渦の捕捉性能が向上するとともに、誤探知が軽減して、渦の探知精度が向上することが分かった。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、AIを活用した突風の探知方法を2020年11月1日に実導入した。

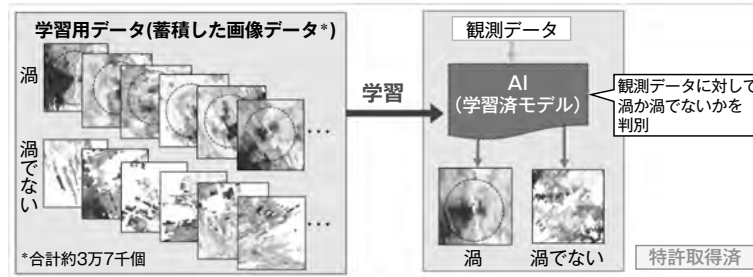


図5 AIを活用した探知方法の概要

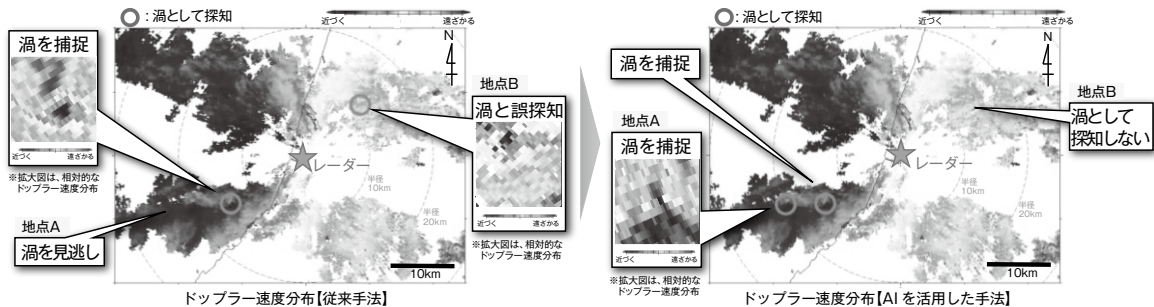


図6 AIの活用による突風の探知精度の向上事例

6. まとめ

冬季における日本海側で発生する突風に対して列車運行の安全を確保するために、気象庁気象研究所と共同研究を実施し、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、2017年12月19日に世界の鉄道で初めて羽越本線と陸羽西線に導入された。また、2019年11月1日に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の運転規制区間をレーダーより30kmから60kmの区間に拡大した。さらに、突風の探知精度を向上したAIを活用した突風の探知方法を開発し、この方法を突風に対する列車運転規制に2020年11月1日に導入した。今後は、この方法の日本海側のほかのエリアや太平洋側への導入に向けて研究開発を進めていきたいと考えている。

謝辞

本稿で述べた突風探知方法は、気象庁気象研究所との共同研究で開発したものです。記して、感謝いたします。

参考文献

- 1) 鈴木博人、藤原忠誠、櫃間智紀、楠研一、猪上華子、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と導入、JREA、Vol.61、No.6(2018)、pp.42281-42284。
- 2) 藤原忠誠、鈴木博人、楠研一、猪上華子：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範囲拡大、JREA、Vol.63、No.6(2020)、pp.44150-44154。
- 3) 石津尚喜、楠研一、足立透、藤原忠誠、渦検出装置、渦検出方法、プログラム及び学習済みモデル、特許第6756889号(2020)。