

# 進化する突風対策:AIが描く鉄道安全と防災技術の新時代

○楠研一(台風・災害気象研究部)

## 1. はじめに:研究の背景と目的

気象災害、特に竜巻のような局地的かつ急速に発達する突風は、予測が極めて困難であり、迅速な検知とリアルタイムの情報提供が不可欠である。竜巻は積乱雲よりも空間スケールが小さく、短時間で急速に発達するため、発生場所と時間の正確な予測は困難である。気象研究所とJR東日本は、ドップラーレーダーと深層学習を用いて、60km圏内の積乱雲内で発生する突風を高頻度でスキャンし、自動的に検出する手法を共同開発した。本発表では、この深層学習技術と列車運行制御への適用例を示し、さらに他の社会インフラ分野における気象災害リスクの軽減への寄与について論じる。

## 2. ドップラーレーダーを使用した竜巻渦パターン検出のための深層学習技術<sup>(1)(2)</sup>

### 2. 1. 竜巻渦の検出原理と深層学習の適用

ドップラーレーダーで観測される竜巻渦は、隣接する二つの特徴的な速度領域として検出される。一方がレーダーから遠ざかる空気の流れ、他方が近づく空気の流れを表し、これらの速度の最大値と最小値のペアから、直径約1kmの竜巻渦を検出することができる。深層学習(教師あり学習)では、モデルの特徴を学習するために、大量の「例と答え」データ、具体的には正例(正解)と負例(不正解)を訓練データとして必要とする。本研究での深層学習アプローチでは、竜巻渦に対応するドップラー速度パターンと竜巻渦に対応しないドップラー速度パターンを、それぞれ正例と負例として使用する。

### 2. 2. 処理の流れと適用例

ドップラーレーダーは15~30秒ごとに観測データを取得し、半径60km以内で竜巻渦に対応するドップラー速度の最大・最小値を検出する。深層学習適用前に、竜巻様の渦状構造である理想的な「ランキン渦」(中心付近で速度が速く、外側ほど遅い)を示すドップラー速度パターンを数学的アルゴリズムでスクリーニングする。自然界の竜巻は理想的な「ランキン渦」モデルと完全に一致しないため、基準は緩和されている。スクリーニング後、気象研究所とJR東日本が共同開発し特許取得済みの深層学習モデル(特許第6756889号)が、これらのパターンを渦/非渦に分類する<sup>(3)</sup>。数学的アルゴリズムは、各候補の中心位置、直径、最大接線風速も計算する。列車運

行制御への応用は以下の手順で実施される。<sup>(4)(5)</sup>

- [1] ドップラーレーダー観測:半径60km以内の下層大気を30秒間隔で観測
- [2] 竜巻渦検出:深層学習を用いた竜巻渦の検出
- [3] 最大風速の算出と軌跡予測:30秒間隔での追跡と最大風速計算
- [4] 列車運行制御:風の警報に基づく適切な停止指示

## 3. BRIDGE(研究開発とSociety 5.0との橋渡しプログラム)の概要

気象研究所は2023年、竜巻渦検出技術の社会実装を加速するため、BRIDGEプロジェクト「局地的・突発的な荒天対策のためのスタートアップとの連携:AIを用いたリアルタイム防災フィールド構築」を開始した<sup>(6)</sup>。このプロジェクトの目的は、気象レーダーによる局地的・突発的な荒天に対する顕著現象の観測データを基に、深層学習を用いた直前予測手法を開発し、リアルタイムで社会の防災・減災に貢献することである。さらに、スタートアップ企業との連携を通じて、迅速かつ柔軟な開発を実現し、多様な市場に対応した社会的な課題解決を目指すものである。このプロジェクトでは、気象レーダーの観測データと深層学習を用いた直前予測手法を開発し、スタートアップ企業との連携を通じて社会の防災・減災に貢献することを目指す。具体的には、深層学習による検出情報とGPS等の位置情報を統合し、スマートフォン等を通じた防災情報の即時配信を実現する(図2)。革新的なアイデアの創出と、スタートアップ及び大企業との効果的な連携により、迅速な開発を進めている。

## 4. まとめ - 今後の発展と期待される効果

本章では、BRIDGEプロジェクトの一環として開発された高度な深層学習モデルによる竜巻渦検知、及びリアルタイム防災情報配信システムの期待される効果と今後の発展について述べる。本プロジェクトの主要な成果は、レーダーデータから竜巻渦を従来手法より高精度に検出する深層学習モデルの開発、及びその検出技術をGPS位置データやタブレット等のデバイスと統合したシステムの実装である。

### 4. 1. 応用分野の拡大:鉄道の安全から国内の重要イ

## インフラ網への展開

BRIDGEプロジェクトで開発された深層学習ベースの竜巻検知技術は、鉄道分野から高速道路、港湾、電力・通信といった重要インフラ全体へと適用を拡大することで、社会のレジリエンス向上が期待できる。位置データとの統合により、各事業者へリアルタイムの気象情報を直接提供することが可能となる。なお、本技術の有効性はレーダーシステムの性能や地域ごとの竜巻特性に依存するため、今後は各地域の特性に応じたシステムの最適化を進める。

## 4. 2. 期待される学術的貢献

本技術は災害予防情報の提供に加え、竜巻研究の学術面でも重要な貢献が期待される。深層学習による自動検知により、膨大なレーダーデータから竜巻渦のパターンを効率的に抽出し、頻度、分布、季節性、発達過程などの特性を包括的に分析することが可能となる。日本の様々なレーダーデータへの適用を通じて、竜巻気候の理解深化や予測モデルの改善、さらには新たな知見の発見により、気象学の進歩に寄与することが期待される。

本稿は、AI・データサイエンス論文集に掲載が決定された論文(Kusunoki et al. 2024)の内容を含んでいる<sup>(7)</sup>。

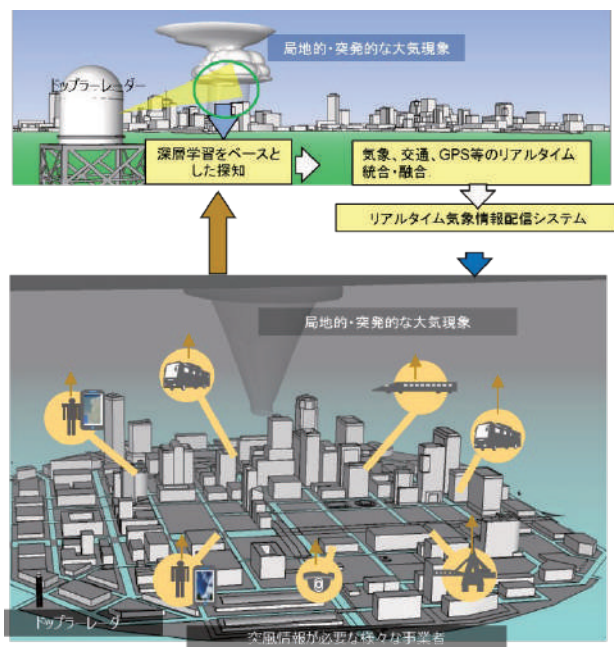


図2 深層学習に基づく検知とデータ統合を活用したリアルタイム情報配信システムの概念図(Kusunoki et al. 2024, Figure 10より改変)。

## 謝辞

本研究は気象庁気象研究所とJR東日本の共同研究として

実施された。本研究の遂行にあたり、「運輸分野における基礎的研究推進制度」、「官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM)」、および「BRIDGE: 研究開発と Society 5.0との橋渡しプログラム」の支援を受けた。

## 参考文献

- (1) Ishitsu, N., Kusunoki, K., Adachi, T., Arai, K., Inoue, H.Y., Fujiwara, C., Suzuki, H.: Detection of tornadic vortex from Doppler velocity field using convolutional neural networks, *Proc.10th European Conf. on Severe Storms*, 4-8 November 2019, Kraków, Poland.
- (2) Kusunoki, K., Ishitsu, N., Adachi, T., Suzuki, O., Arai, K., Fujiwara, C., and Suzuki, H., Development of tornado detection technique with Doppler radar using deep learning. *Wind Engineers, JAWE*, 47(3), 218-223, 2022. <https://doi.org/10.5359/jawe.47.218> [in Japanese].
- (3) Japanese Patent No. 6756889, Vortex Detection Device, Vortex Detection Method, Program and Trained Model, 2020. <https://www.j-platpat.inpit.go.jp/c1801/PU/JP-6756889/15/ja> [in Japanese].
- (4) Fujiwara, C. and Suzuki H., Development of train operation control method against wind gusts using Doppler radar, *JR EAST Tech. Rev.*, Vol. 66, pp.40-43, 2021 [in Japanese].
- (5) East Japan Railway Company, implementation of Train operation control using AI-based wind gust detection method, [https://www.jreast.co.jp/press/2020/20201006\\_ho03.pdf](https://www.jreast.co.jp/press/2020/20201006_ho03.pdf), 2020. [in Japanese].
- (6) Programs for Bridging the gap between R&D and the IDEal society (society 5.0) and Generating Economic and social value (BRIDGE), [https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5\\_0/index.html](https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html), 2023.
- (7) Kusunoki, K., Ishitsu, N., Adachi, T., Suzuki, O., Arai, K., Suzuki, H., Fujiwara, C., Shinomiya, T., Ashikawa, K., Suda, T., Ogawa, I., Deep learning-based tornado vortex detection through the BRIDGE program: Advancing technology and multidisciplinary applications. *Artificial Intelligence and Data Science*, Vol. 5, Issue 2, 22-39. [https://doi.org/10.11532/jsceiaai.5.2\\_22](https://doi.org/10.11532/jsceiaai.5.2_22).