

国-6 竜巻等の自動検知・進路予測 システム開発

官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM)
「革新的建設・インフラ維持管理技術/革新的防災・減災技術領域」
令和4年度成果

令和5年3月
気象庁 気象研究所

課題と目標

- （課題）局地的・突発的な現象の即時的な検出・予測及び情報提供が困難
- （目標）当該システムの開発により、以下の目標を将来的に実現できる。
 - ①人工知能を用いた、気象レーダーデータのリアルタイムの分析・判断により、災害をもたらす竜巻等突風・局地的大雨の範囲や強さを自動検出。
 - ②位置情報等を連携させ、先読み情報（直前予測）を入れて様々なニーズを持つ事業者（公共交通事業者等）へカスタマイズされた情報を提供。

「竜巻等の自動検知・進路予測システム開発」の概要

■元施策：大気海洋に関する研究

台風および集中豪雨・大雪・竜巻等突風等の顕著現象がもたらす気象災害を防止・軽減するため、最先端の観測・解析手法や高精度の数値予報システムを用い、これらの現象の機構解明と高度な監視予測技術の開発を行う。

■施策の全体像：本アドオン施策は、主に公共交通事業者を対象とした情報提供システムの開発を行う。全国で運用される気象レーダーの観測で得られるビッグデータを、人工知能を用いた技術等でリアルタイムに処理し、災害をもたらすおそれがある竜巻等突風・局地的大雨の範囲や強さを自動検出する技術を確立する。さらに利用者向けにカスタマイズされた情報を提供するためのシステムを開発する。これらにより、災害の発生直前からまさに災害が発生中、及び事後における、公共交通の危険回避や抑止などの防災対策や応急対策等が可能となる。

出口戦略

アドオン施策で開発したAI（人工知能）システムを以下に搭載し、災害に結びつく現象の早期予測による運行規制を行うことで、防災減災が図られる。

- ①公共交通事業者が主要幹線沿い等に新規整備する気象レーダー
- ②システム要件を満たす既設の公共気象レーダー

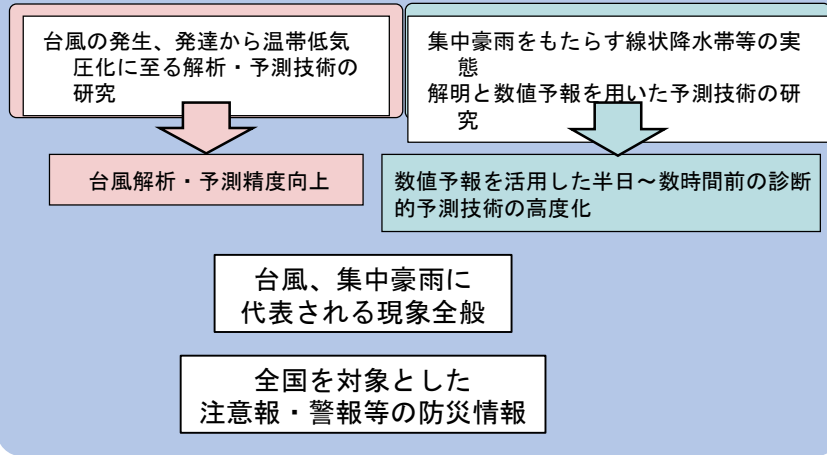
民間研究開発投資誘発効果等

- 民間投資誘発効果として、レーダーと探知システムを合わせた新規展開等により 50億円以上（2030年まで）
- 民間からの貢献額：平成30年～令和4年度までの5年で9億2千万円
 - ①（内訳）共同研究開発 510,000千円
 - ②（内訳）システムの新規実装および各種公共レーダー活用のためのアセスメント 233,000千円
 - ③（内訳）AIによる突風探知の実装と運用 175,000千円

アドオン（気象庁）：竜巻等の自動検知・進路予測システム開発（203,000千円）
元施策名：大気海洋に関する研究（239,638千円）

元施策：大気海洋に関する研究

台風および集中豪雨・大雪・竜巻等突風等の顕著現象をもたらす気象災害を防止・軽減するため、最先端の観測・解析手法や高精度の数値予報システムを用い、これらの現象の機構解明と高度な監視予測技術の開発を行う。



【PRISM】

アドオン施策：竜巻等の自動検知・進路予測システム開発

- ◆目標：当該システムの開発により、以下の目標を将来的に実現できる。
- ①人工知能を用いた、気象レーダーデータのリアルタイムの分析・判断により、災害をもたらす竜巻等突風・局地的大雨の範囲や強さを自動検出。
- ②交通の位置情報等を連携させ、先読み情報（直前予測）を入れて事業者（公共交通事業者等）向けにカスタマイズされた情報を提供するためのシステムを開発

【開発のイメージ】

局地的かつ急激に発生発達するため、従来の手法では対処困難

例：竜巻等突風

The diagram shows a cross-section of a tornado. A vertical red and yellow line represents the detection path. A grey cone-shaped area represents the 'AI-based 30-second interval detection and tracking'. A scale bar indicates 1 km. A small inset photo shows a real-life tornado.

発生しているターゲット
人間の判断や数値モデルを
介さずAIで即時認識

AIによる30秒間隔の
探知・追跡

1km

○社会実装により、竜巻等突風・局地的大雨に関する防災減災能力の強化が、全国規模で実現。

局地的・突発的な現象
竜巻等突風・局地的大雨

公共交通事業者を対象とした極めて短時間の探知・予測情報

資料3 「竜巻等の自動検知・進路予測システム開発」の目標達成状況

○施策全体の目標 竜巻等突風、局地的大雨は高速交通などへの災害をもたらすものの、そのサイズが小さく急速に発達するため従来の手法でこれをとらえ防災に結び付けることは困難である。本アドオン施策は、主に公共交通事業者を対象とし、気象レーダーデータを人工知能を用いた技術等でリアルタイムに処理し、これら現象を自動検出する技術を確認する。さらに公共交通事業者向けに進路上に自動的にアラートを出す技術を開発する。これらにより、災害の発生直前からまさに災害が発生中、及び事後における、公共交通の危険回避や抑止などの防災対策や応急対策等の防災活動が可能となる。

事業名等	当年度目標	目標の達成状況
実施項目 (1) 竜巻の 実事例と シミュレ ーションによる 教師デー タ整備	<p>①引き続き国内外の竜巻関連データを収集しビッグデータの基盤を強化するとともに、交通系を主体とする多様なニーズに応じたデータ基盤の継続的な利活用について、検討を行う。</p> <p>②ビッグデータに最新の深層学習モデルを広範囲に適用することで災害リスクエリアのマップ化を実現し、社会が求める突風等の防災情報の将来像を踏まえながら、今後の研究開発の方向性を有識者と共に考察する。</p>	<p>①a 気象庁の竜巻等突風データベースをと全国の空港気象ドップラーレーダーデータ(2009-2021年)から、突風災害を発生させた夏季竜巻に関する12,000のパターンを抽出し、メタ情報(竜巻パターンかどうか)を付与したデータベースを整備した。我が国の夏季竜巻に関するレーダーパターンの唯一のビッグデータベースとして活用が期待される。</p> <p>①b 上記とほぼ同期間の気象庁の竜巻発生確度ナウキャストデータ(2009-2022年)を整備し、上記レーダーパターン、突風被害分布、交通流等と組み合わせた突風災害リスクエリアのマップ化の準備を進めた。</p> <p>①c 冬季新潟エリアにおける公共レーダーを用いた鉄道事業者の実装のため、データ収集と教師データ整備を進めた。</p>
竜巻等 の自動 検知・ 進路予 測シス テム開 発	<p>①世界初の竜巻探知のための深層学習モデルと鉄道への実装を中心にこれまでの開発・試作成果を取りまとめ、主として新幹線等の高速鉄道への実装を念頭に、探知の高精度・高速化を実現する。</p> <p>②深層学習による竜巻探知の重層化、学習の自動化、交通系の自動運転のニーズを念頭に、カメラ映像やGPSを取り込んだ将来型竜巻検出技術の開発を進め、効率的な運用の概念を提示する。</p> <p>③開発した深層学習の応用展開として、線状降水帯など多様な現象のナウキャストへの適用を検討する。</p>	<p>①a (1)①aを教師データとした深層学習モデルと冬季竜巻との差分を再学習させたサブモデルと組み合わせた多段式モデルで、最終年度の数値目標(再現率・適合率60%以上)を10年平均値で達成した(再現率76-86%・適合率72-78%)。</p> <p>①b 探知の難易度が極めて高い顕著な竜巻事例(千葉県市原市2019年10月12日:被害域の風速約65m/sと推定)を精度良く探知できた(再現率68%・適合率72%)。</p> <p>②車載カメラ等に映った積乱雲や漏斗雲の映像とGPS位置情報を、レーダーによる竜巻の探知結果と有機的に結んで防災情報を重層化するため、映像からこれら雲を検出する深層学習モデルを構築し、半数以上のケースで雲の位置を正しく検出できた。</p> <p>③気象庁解析雨量の時間変化から線状降水帯を予測する深層学習モデルについて、線状降水帯の形態を特徴づける様々なパラメータを可変にして様々なバージョンの教師データを自動作成するツールを開発した。</p>
実施項目 (3) 自動 予測・情報 提供シス テムの開 発	<p>①夏季太平洋側を中心に公共レーダーを用いた準リアルタイム実験を行い、様々な地域における主に鉄道への実装のための課題や今後に向けたアクションプランを事業者とともに取りまとめる。</p> <p>②有識者からなるシンポジウムを開催し、鉄道のみならず様々な事業者への普及に関する官民連携の進め方・中長期的なロードマップについて考察を行う。</p>	<p>①a 国交省XRAINの1次データを利用した実装のためのリアルタイム実験のシステム構築を完了し、1月から初期実験を行った。</p> <p>①b 竜巻による死傷者数が多くかつ気象レーダーと情報提供システムをパッケージとした海外展開が期待される候補国を精査し、バングラデシュを選定した。2007-2022年の同国レーダーデータを収集し、探知実験を行い良好な結果を得た。多言語対応のスマートフォン情報提供システムのデモ用アプリを開発し、同国へのニーズ調査を行った。</p> <p>①c 2019年に実施した鉄道事業者(5社)を対象としたニーズ調査を整理した。</p> <p>②有識者からなるシンポジウムを開催し、鉄道のみならず様々な事業者への普及や海外展開に関する考察を行った。</p>

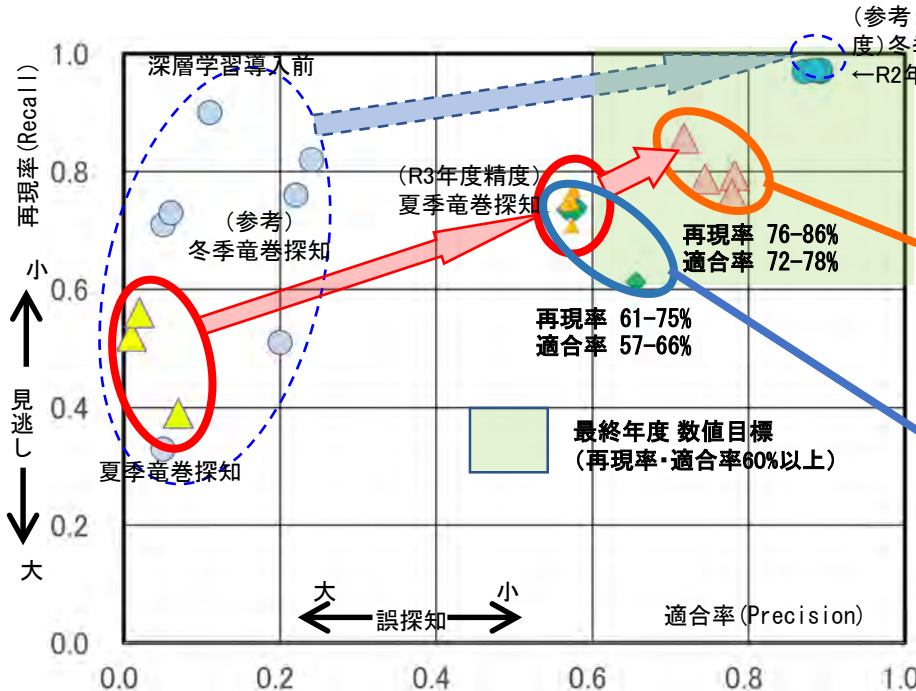
資料4 「竜巻等の自動検知・進路予測システム開発」の成果

実施項目 (1) 竜巻の事例とシミュレーションによる教師データ整備

10年間の全国の空港気象ドップラーレーダーデータ (2009-2021年) から、突風災害を発生させた夏季竜巻に関する12,000のパターンを抽出し、メタ情報 (竜巻パターンかどうか) を付与したデータベースを整備。我が国の夏季竜巻に関するレーダーパターンの唯一のビッグデータベースとして活用

夏季竜巻に関する教師データベースを用いて深層学習モデルを構築

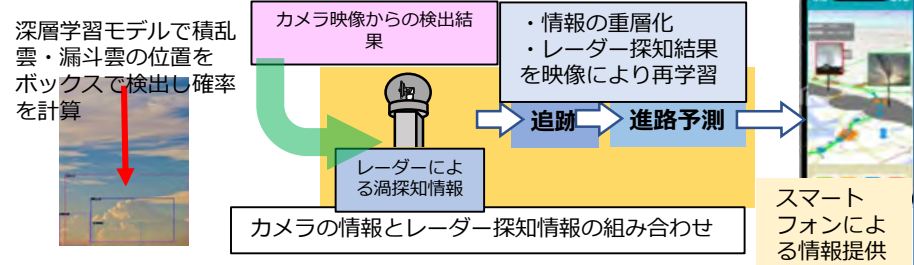
実施項目 (2) AIを用いた竜巻の自動検出・追跡技術の開発



注: 教師データは一部異なるものを使用

実施項目 (3) 自動予測・情報提供システムの開発

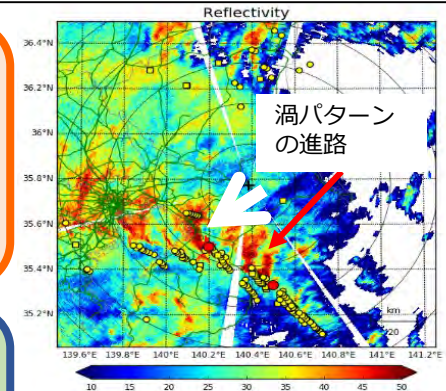
スマートフォンのカメラ等に映った映像から積乱雲・漏斗雲を検出する深層学習モデルを構築。位置情報やレーダーデータと組み合わせた情報生成の仕組みを開発



数値目標 (再現率・適合率60%以上) を達成
再現率 76-86% 適合率 72-78% (VGGモデル)

モデル(2)
気象庁の空港気象ドップラーレーダーを長期間収集して構築した教師データを直接学習させるとともに、冬季と夏季の渦パターンの差異を強化的に学習させるサブモデルを追加学習させるモデル

モデル(1)
1年あたり得られる教師データ数が圧倒的に少なく、パターンが多様な夏季渦の特徴を詳細に分析し、教師データが多数収集できる冬季渦をベースに、人工的に作成した夏季渦の学習等を目指したモデル



(例) 顕著な竜巻事例千葉県市原市2019年10月12日: 被害域の風速約65m/sと推定された竜巻) を精度良く探知。

資料5 「竜巻等の自動検知・進路予測システム開発」の民間からの貢献及び出口の実績

○民間からの貢献額：平成30年～令和4年度までの5年で9億2千万円

①（内訳）共同研究開発 510,000千円

②（内訳）システムの新規実装および各種公共レーダー活用のためのアセスメント 233,000千円

③（内訳）AIによる突風探知の実装と運用 175,000千円

当年度当初見込み	当年度実績
①（内訳）共同研究開発 98百万円	①（内訳）共同研究開発 98百万円
②（内訳）AIによる突風探知の運用・遠隔データ提供 26百万円	②（内訳）AIによる突風探知の運用・遠隔データ提供 26百万円

○出口戦略

アドオン施策で開発したAI（人工知能）システムを以下に搭載し、災害に結びつく現象の早期予測による運行規制を行うことで、防災減災が図られる。

①公共交通事業者が主要幹線沿い等に新規整備する気象レーダー ②システム要件を満たす既設の公共気象レーダー

当年度当初見込み	当年度実績
・世界初のAIを用いた突風探知の社会実装（2022-23年冬季）の評価	<ul style="list-style-type: none"> ・2022-23年冬季、山形・秋田・新潟エリアを対象とした検証を行い、深層学習を用いた有用性が確認された。 ・上記実績を踏まえ、2023-24年冬季以降も引き続き当該技術を用いた運行規制が実施されることとなった。世界に先駆けた当該技術が引き続き鉄道に運用されることは、今後の民間投資誘発拡大に向けた重要な一歩と評価される。