3　大阪・関西万博を支える NICT の技術 〜 NICT の研究開発成果の提供〜

3　NICT Technologies Supporting Expo 2025 Osaka, Kansai, Japan -Utilizing NICT R&D outcomes-

3-1　大阪・関西万博における吹田・神戸 MP-PAWR と「富岳」を活用した高精度気象予測情報の提供

3-1　Provision of High-accuracy Weather Forecast Information using Suita and Kobe MP-PAWRs and Fugaku at the Expo 2025 Osaka, Kansai, Japan

佐藤 晋介　花土 弘　Philippe BARON　河谷 能幸　辻 隆之
SATOH Shinsuke, HANADO Hiroshi, Philippe BARON, KAWATANI Yoshiyuki, and TSUJI Takayuki

2025 年大阪・関西万博において、吹田・神戸のマルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダー（MP-PAWR）と理化学研究所（理研）のスーパーコンピュータ「富岳」を用いた気象予報実験を実施した。本実験は、総務省委託研究「ユーザー最適型データ提供に関する要素技術の研究開発」の成果を応用したものであり、万博アクションプランにも掲載された。NICT、理研、大阪大学、防災科研、PFN、エムティーアイの 6 者が連携し、吹田・神戸 MP-PAWR を運用し、観測データを解析処理後、「きゅむろん」で富岳に配信し、気象予測を行い、その結果は理研 HP とエムティーアイのスマホアプリ「3D 雨雲ウォッチ」で一般公開された。気象予測実験の実施内容を紹介し今後の展望を述べる。

At the Expo 2025 Osaka, Kansai, Japan, a weather forecasting experiment was conducted using MP-PAWR radars in Suita and Kobe, along with RIKEN’s supercomputer Fugaku. This experiment applied the results of the MIC-commissioned research project “Research and development of advanced technologies for a user-adaptive remote sensing data platform,” and was also included in the World Expo Action Plan. Six organizations-NICT, RIKEN, Osaka Univ. DPRI, PFN and MTI-collaborated to conduct this project. The MP-PAWR systems in Suita and Kobe were operated, and after analyzing the observed data, the results were transmitted to the Fugaku supercomputer via “cumulon” for weather forecasting. The results were then made publicly available on the RIKEN website and the MTI's smartphone app “3D Amagumo Weather” platform. This presentation will describe the details of this project and outline future plans.

1　はじめに

近年、短時間での局地的大雨の年間発生回数は増加しており、強度の強い雨ほど増加率が顕著である [1]。このような短時間に局地的・突発的に降るゲリラ豪雨による被害を減らすために、豪雨の兆候を早期に検知して豪雨の規模や位置を正確に予測することで、安全に係る情報を適時適切に生活者に提供することが求められている。NICT では、この課題に取り組むため、30 秒間隔で高精度に降水の三次元立体観測ができる次世代気象レーダー、フェーズドアレイ気象レーダー（PAWR）を開発してきた。2012 年に東芝、大阪大学、NICT が共同で日本で初めての PAWR を開発して、大阪大学吹田キャンパスに設置した [2]。このレーダーは、30 秒間で隙間のない 3 次元降水分布を 100 m 分解能で観測できることが最大の特徴で、局地的大雨をもたらす積乱雲の急発達（ゲリラ豪雨の卵）を観測することが可能になった。2014 年には兵庫県神戸市岩岡町にある NICT 未来 ICT 研究所と沖縄県恩納村にある NICT 沖縄電磁波技術センターに吹田と同型の PAWR

を設置して、以来 2024 年まで吹田･神戸･沖縄 PAWR を10年近く運用し、数値予報やスマホアプリへの応用などリアルタイム観測データの利用を推進してきた [3]。その後、二重偏波観測機能を有するマルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダー（MP-PAWR）の期待を受けて、2017 年に内閣府の SIP「レジリエントな防災・減災機能の強化」の施策として NICT を初めとするグループにより、世界初の実用型 MP-PAWR を開発し、埼玉大学に設置した [4]。2022 年から 2023 年には、補正予算によって吹田と神戸の PAWR をさいたま MP-PAWR とほぼ同型の MP-PAWR に換装した（図 1）。これによって、関西地域では、吹田・神戸の2台のMP-PAWRによる偏波を含めたきめ細かな観測が実現できるようになった。

図 1　神戸市の NICT 未来 ICT 研究所（左）と吹田市の大阪大学（右）に設置された MP-PAWR

2　大阪・関西万博における気象予報実験の経緯

2022 年から 2024 年にかけて、総務省委託研究「リモートセンシング技術のユーザー最適型データ提供に関する要素技術の研究開発」が実施された。（株）Preferred Network（PFN）が代表機関として NICT と連携して受託し、この委託研究の中で、大量に生成される MP-PAWR 観測データを機械学習を利用して高効率に圧縮する技術を利用したデータ配信プラットフォーム「きゅむろん」が開発された [5]。MP-PAWR と「きゅむろん」を活用する応用事例として、大阪・関西万博における気象予報実験が計画され、この計画が「2025 年大阪・関西万博アクションプラン」[6] の一つである「リモートセンシング技術による高精度データの解析及びリアルタイム配信の実証（総務省）」に組み込まれた。本アクションプランに基づいて、NICT、理化学研究所、大阪大学、防災科学研究所（防災科研）、（株）PFN、（株）エムティーアイの 6 者が連携することとなった [7]。図 2 に示すように、NICT と大阪大学が MP-PAWR の観測運用、防災科研が高精度な 3 次元降雨量推定技術の提供、PFN が開発したデータ圧縮・配信プラットフォーム「きゅむろん」を通じての MP-PAWR データのリアルタイム配信を担当する。理研では、「富岳」を用いて、世界で初めて 2 台の MP-PAWR の観測データを使った降水予報計算を実行し、リアルタイムで豪雨予測を行う。エムティーアイは、MP-PAWR の観測データ及び理研による豪雨予測結果を無料のスマホアプリ 3D 雨雲ウォッチを通して一般に配信する [9]。「富岳」の計算資源は、アクションプランを取りまとめる総務省を中心に文部科学省の「富岳」政策対応枠の課題に応募・採択されることで確保

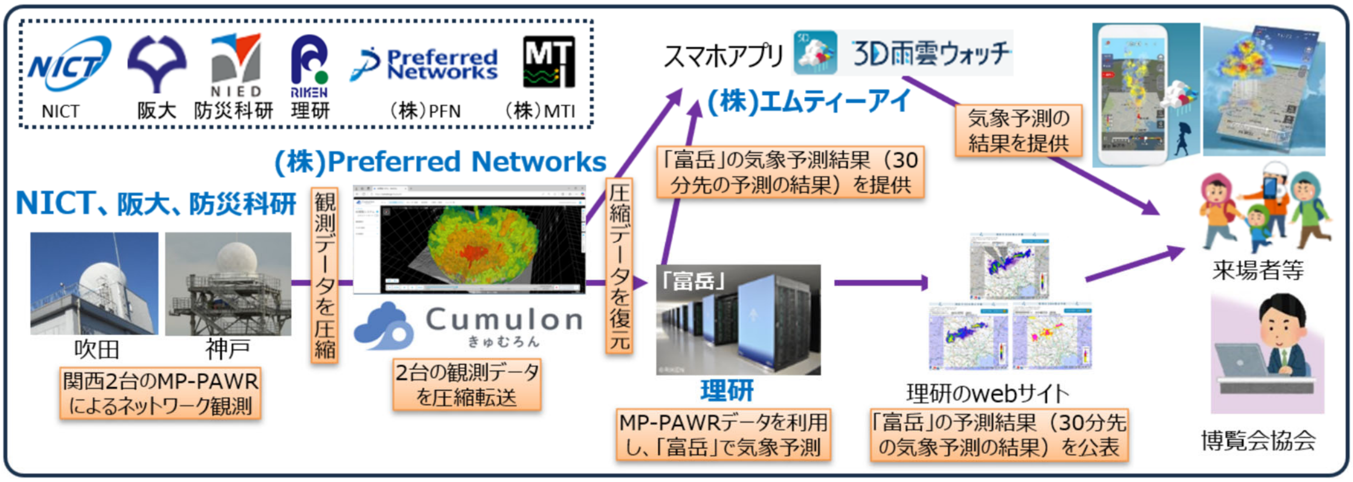

図 2　NICT、大阪大学、防災科研、PFN、理研、エムティーアイの 6 者連携による大阪・関西万博における高精度気象予測情報の提供の模式図（2025 年 3 月 26 日プレスリリースより [7]）

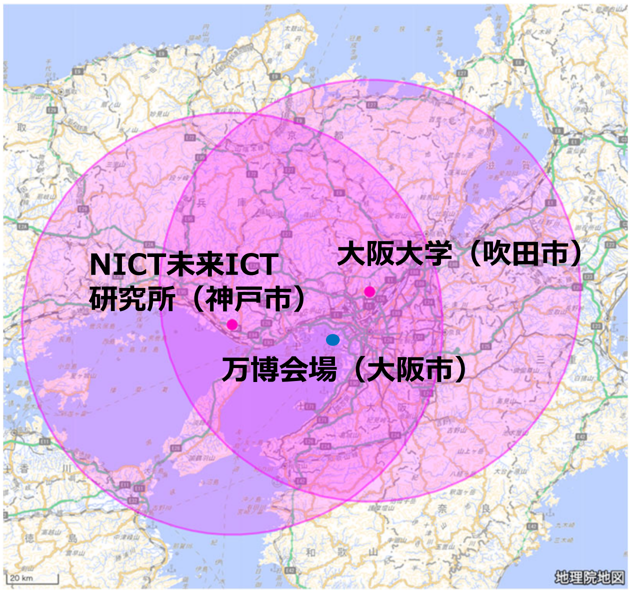

図 3　吹田と神戸 MP-PAWR の観測範囲（半径 80 km）と大阪・関西万博会場の位置

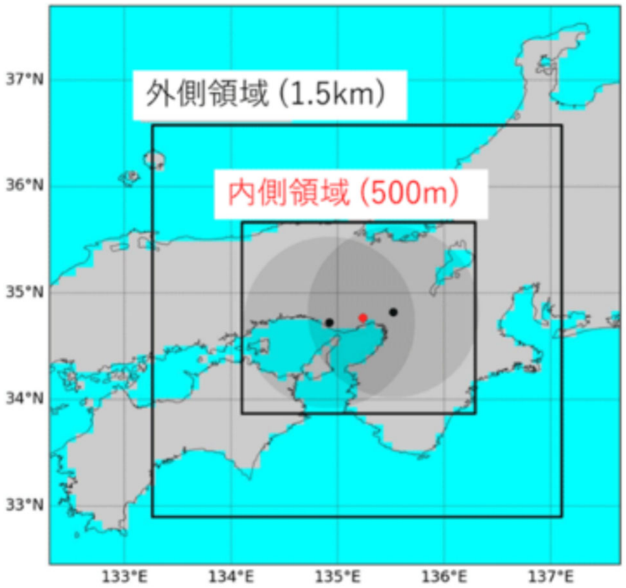

図 4　予報実験の計算領域の設定

された。図 3 に示すように万博会場を含む地域では吹田･神戸 MP-PAWR の 2 台により異なる方向から降雨観測を行うことで強い降雨による電波の減衰の影響を改善するほか、雨粒の移動速度を 2 方向から計測することにより、予測精度の向上が期待できる。2021 年に東京を中心とする首都圏で開催された東京オリンピック・パラリンピック期間中に実施された、「富岳」とさいたま MP-PAWR を連携させたゲリラ豪雨予報実験 [8] に比べ、今回は吹田・神戸 MP-PAWR の 2 台の観測データを用いる点と PFN のデータ配信プラットフォーム「きゅむろん」を利用する点が発展である。

3　「富岳」によるゲリラ豪雨予報実験とその結果配信

2 において、大阪・関西万博における気象予報実証実験の経緯と概要を述べたが、ここでは実際の予報実験の内容について説明を行う。今回の予報実験では、PFN が開発したデータ圧縮・配信プラットフォーム「きゅむろん」を通して、吹田と神戸 MP-PAWR の圧縮された降雨減衰補正後のデータがリアルタイムで理研に伝送される。理研では「富岳」を用いて、2 台の MP-PAWR データの同化を行い、30 分先までの数値予報計算を実行し、ゲリラ豪雨予測を行う。使用するデータ同化手法と数値モデルは、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ（LETKF）と領域気象モデル SCALE であり、これらを組み合わせた SCALE-LETKF による「ビッグデータ同化」システムを用いる [10][11]。これは JST の CREST 採択研究課題「「ビッグデータ同化」の技術革新によるゲリラ豪雨予測の実証」というプロジェクトで、理研スーパーコンピュータ「京」で稼働するものとして開発された。フェーズドアレイ気象レーダーで得られる 30 秒ごとのリアルタイム観測データを NICT から理研に送信して、反射強度とドップラー速度の 3 次元観測データを局所アンサンブル変換カルマンフィルタ（LETKF）を用いて領域気象モデル SCALE に 250 m あるいは 100 m メッシュで同化し、SCALE で 30 分先までの予測計算を行う。データ同化に続き、予測の信頼性向上のため、アンサンブル予報を行うが、今回のアンサンブルメンバー数は前半 500、後半 1,000 である。計算領域は図 4 に示すとおり、吹田と神戸の MP-PAWR の観測範囲（それぞれ半径 80 km の陰影部）を覆うようにメッシュサイズ 500 m の内側領域を設け、その外側にメッシュサイズ 1.5 km で数値計算を行う外側領域で囲んでいる。2016 年のスーパーコンピュータ「京」で行われたビッグデータ同化実験では、メッシュサイズが 250 m であったが、今回は、「富岳」スーパーコンピュータの計算機資源の制約と実際の予報結果の効果を考慮した結果、メッシュサイズは 500 m で実施された。メッシュサイズ 1.5 km の外側領域では、気象庁が定常的に計算を行っている MSM 数値モデルの計算結果を初期値・境界値データとして用いている。

この「富岳」で計算された予報実証実験の結果は、図 5 に示した理研のホームページ及び図 6 に示す 3D 雨雲ウォッチという無料のスマホアプリを通して一般に公開されるとともに、3D 雨雲ウォッチでは豪雨予測情報のプッシュ通知も行われた。今回の取組の周知活動として、総務省では図 7 に示す宣伝ポスターを作成し、大阪メトロの全駅、関係省庁、関係機関に掲示し、そのアプリの利用を勧めた。また、博覧会協会の

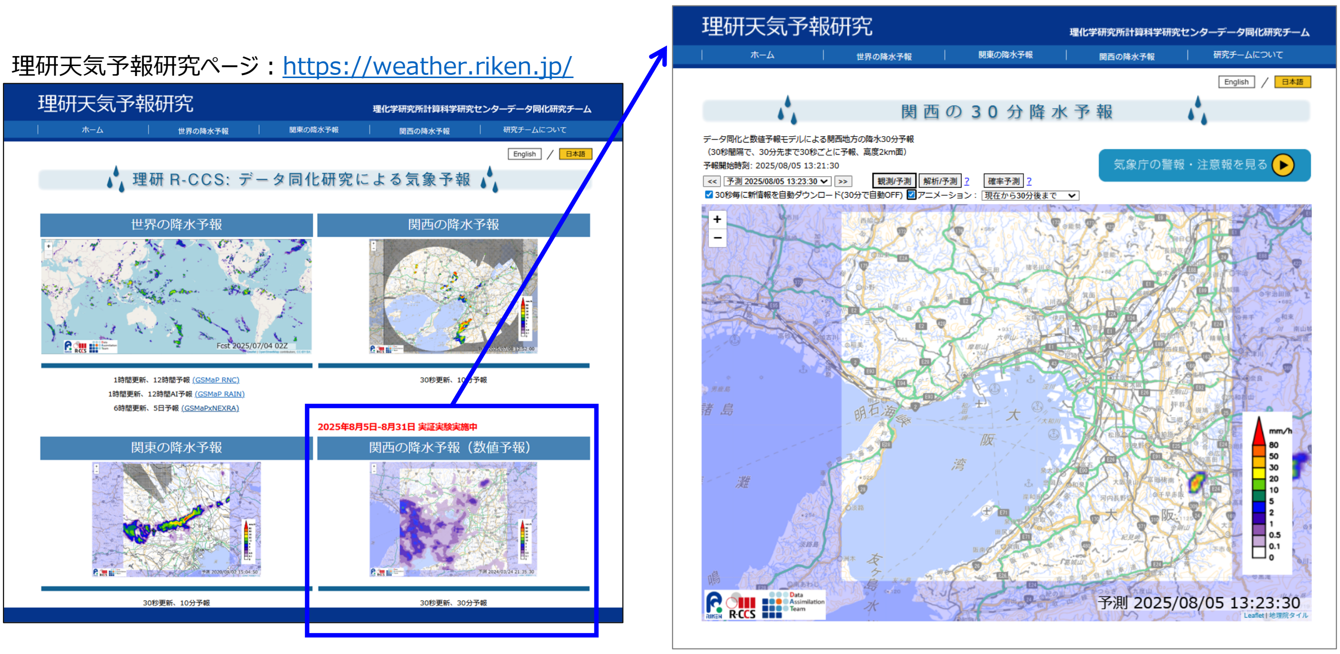

図 5　理研天気予報研究ページ（https://weather.riken.jp）（理研提供）

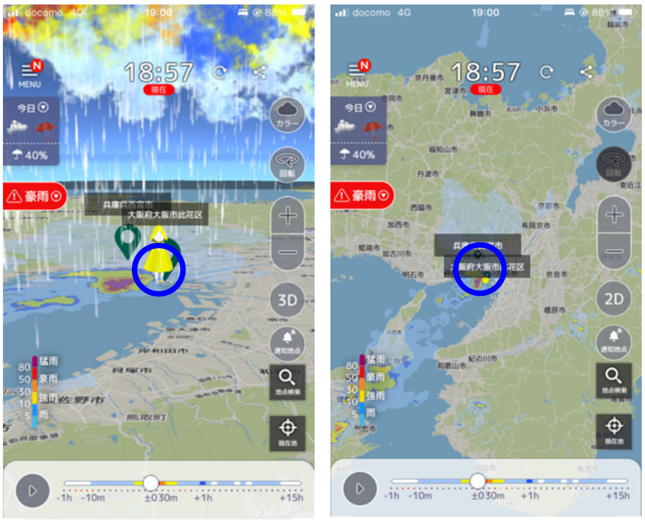

図 6　3D 雨雲ウォッチの画面例（8/12 19:00 万博会場でのゲリラ豪雨の予測結果）（エムティーアイ提供）

図 7　大阪・関西万博における気象予報実験の宣伝ポスター（総務省作成）

危機管理部門においても 3D 雨雲ウォッチのプッシュ通知を活用してもらい、豪雨の事前通知情報の有効性を評価してもらった。3D 雨雲ウォッチは、従来は利用者が現在いる場所を GPS 情報から取得し、その地点の天気予報を表示して、豪雨の事前通知を行う仕様であったが、今回の大阪・関西万博での利用を想定して、あらかじめ通知地点を登録しておくことができる機能が追加され、実際に万博会場を訪れていない場合にも万博会場における天気予報結果を得ることができるようになった。

理研の「富岳」を用いた予報実証実験は、2025 年の 8 月 5 日から 31 日にかけて行われた。万博開催期間は、4 月 13 日から 10 月 13 日までの 6 か月間に及ぶが、確保された「富岳」の計算機資源は約 1 か月であり、連携機関内で協議し、ゲリラ豪雨が予想される 8 月に実験が行われた。予測領域では、8 月 7・8 日、10–17 日、

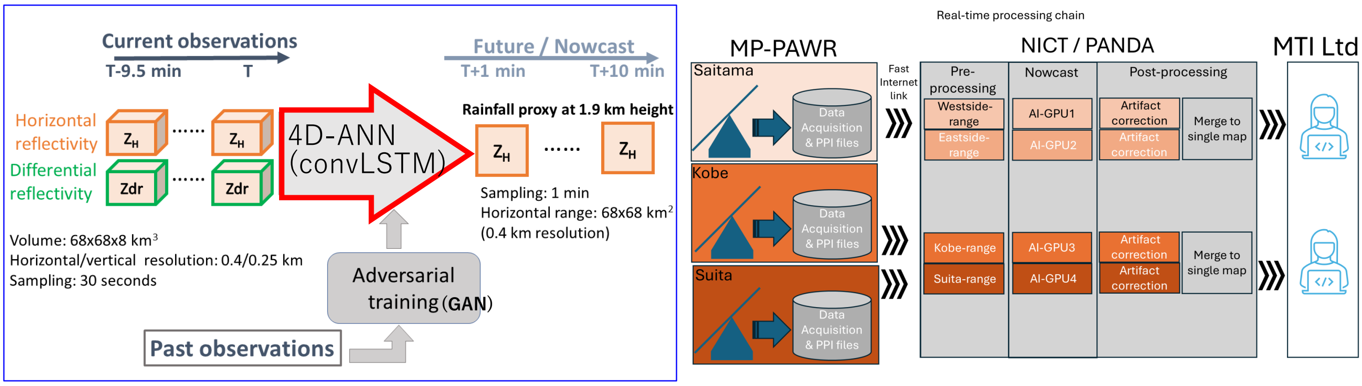

図 8　NICT AI ナウキャストのモデル概要（左）とリアルタイム処理フロー（右）

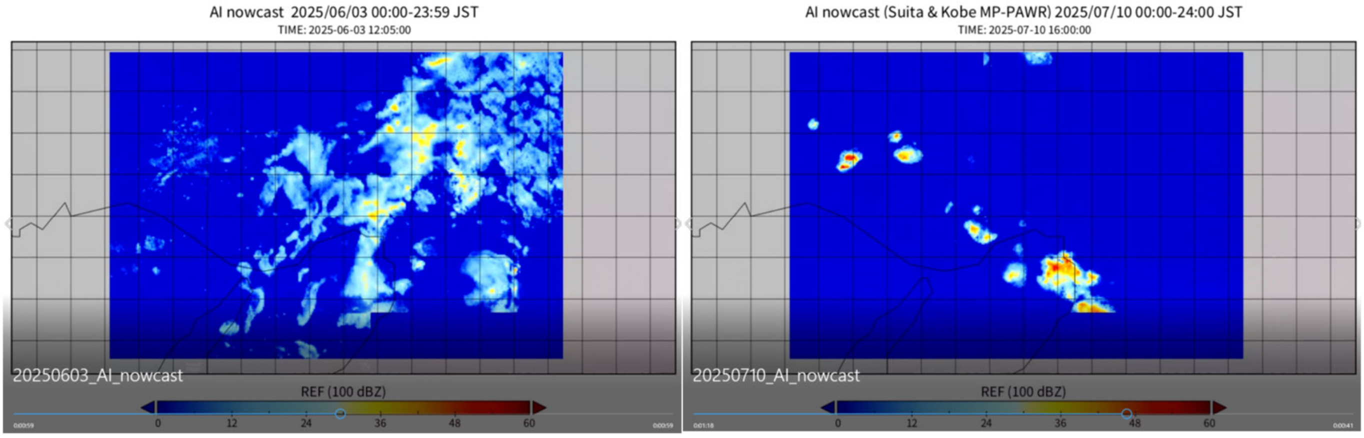

図 9　AI ナウキャストの予測結果（左：6/3,12:05）（右：7/10,16:00）

22-28 日などに多様な降雨エコーが観測され、予報実証に資するデータが取得された。

4　NICT AI ナウキャストによる短時間予測

NICT では、万博に向けた取組とは別に、従来から人工知能（AI）を用いたナウキャスト（短時間予測）の研究を行っている [12][13]。前述のスーパーコンピュータ「富岳」を用いた気象予測は、物理法則を数式に置き換え微小時間ごとのステップで計算を行う数値計算なのに対して、AI ナウキャストは、人工ニューラルネットワーク（ANN）という機械学習手法を用いて過去の実データを学習することで予測計算を行う技術で、スーパーコンピュータのような膨大な計算資源を必要としない予測手法である。ナウキャストは 10 ～ 15 分程度の短い時間に変化する気象現象を予測するもので、長時間の予測計算を可能とする数値計算に対して補足的な役割を有している。AI ナウキャストでは、図 8 に示すように 4 次元の ANN モデルの一種である convLSTM3D という 3 次元空間の畳み込み長短期記憶といわれるリカレントニューラルネットワーク（RNN）を用いて、30 秒ごとに観測される高密度の MP-PAWR 観測データ（ZH と ZDR）を入力し、敵対的生成ネットワーク GAN も利用することで、10 分後までの 1 分ごとの予測値を高度 2 km の反射強度（400 m メッシュ）として出力している。吹田・神戸地域の予測エリア（68 × 68 × 8 km^3）の計算に GPU ボード（NVIDIA RTX A6000）を 2 枚使用している。図 9 はその AI ナウキャストの 10 分後の予測結果で、6 月 3 日、12:05 と 7 月 10 日、16:00 の結果を示す。6 月 3 日の事例は西から近づく比較的弱い降雨域が万博会場を覆う時のもので、ほぼ移流で決まるので既存のナウキャストでも予測が容易な例である。7 月 10 日の例はいわゆるゲリラ豪雨的な対流性降雨の事例で、急激に発達する積乱雲からの豪雨である。このような急激に発達するゲリラ豪雨は AI ナウキャストの予測が得意とする事例となる。NICT の AI ナウキャストの予測結果についても、リアルタイムで（株）エムティーアイに送ることで、3D 雨雲ウォッチのプッシュ通知として、その予測結果を広く一般市民に提供し、活用されている。

最後に吹田・神戸 MP-PAWR の 3 次元観測データを示す。図 10 は、吹田の MP-PAWR で観測された反射強度である。左側の高度 2 km の CAPPI の反射強度分布の図中に示された赤線に沿った鉛直断面図を右側に示す。5 月 17 日、07:40 の事例では、高度 5 km 程度

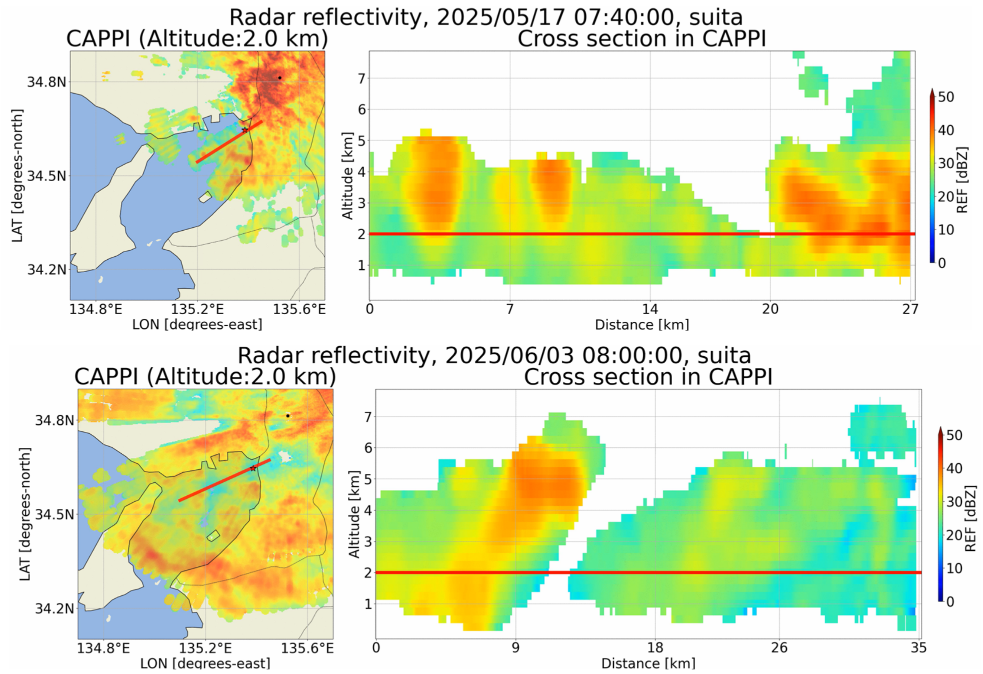

図 10　吹田・神戸 MP-PAWR で観測された豪雨の 3 次元降水分布（上：5/17,07:40）（下：6/03,08:00）

の強い降雨エコーが北東進しており、07:50 頃には万博会場で豪雨をもたらした。全体としては大阪湾上に広がった降雨域で、その中の強雨エコーは 0 ℃高度と思われる高度 5 km 以下で強くなる暖かい雨の形態であるが、反射強度としては発達した対流性エコーの降水セルのような強度を持ち、層状性エコーに埋め込まれた対流性エコーという見方もできると考えられる。下図の 6 月 3 日、08:00 時過ぎの事例では、同様に東北東進する広がった層状性エコー域に強雨エコー域が埋め込まれており、08:00 に鉛直断面の距離 9 km 付近に見られる強雨エコー域が東進して、08:10 過ぎには万博会場付近に豪雨をもたらした。どちらの事例も孤立した積乱雲によるゲリラ豪雨という降雨ではないが、比較的強い降雨をもたらす事例として重要であり、発達メカニズムや強雨生成過程を調べるためには、詳細な 3 次元データを 30 秒ごとに得られる MP-PAWR の観測データが役に立つと考えられる。降水メカニズムの解明がある程度進んだ段階で、今後数値予報や AI ナウキャストによる予測結果がどうであったかを調べる必要がある。

5 まとめ

2025 年大阪･関西万博にて、MP-PAWR とスーパーコンピュータ「富岳」を活用した気象予報実証実験が実施された。PFN が開発した「きゅむろん」により観測データをリアルタイム配信し、理研が豪雨予測を行い、結果は理研ホームページとエムティーアイのスマホアプリ「3D 雨雲ウォッチ」で一般公開された。8 月の実験期間中に予報実証に資するデータが取得され、AI ナウキャストによる短時間予測も併用された。予報結果の検証はこれからであり、気象予報の精度向上と情報提供のあり方を検討していく。

謝辞

さいたま、吹田、神戸 MP-PAWR の観測運用は、総務省から受託した「電波伝搬の観測・分析等の推進」の支援を受け行われている。また、本プロジェクトは総務省委託研究「リモートセンシング技術のユーザー最適型データ提供に関する要素技術の研究」の支援を受けたものである。図 4、5 は理研のデータ同化研究チームの大塚成徳氏、James Taylor 氏、三好建正氏からの提供によるもので、図 6 は（株）エムティーアイの佐藤有貴氏、芦川謙吾氏から提供いただいた。これらの提供に深く感謝いたします。

【参考文献】

1 気象庁, “大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化,” https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html
2 NICT 報道発表, 日本初「フェーズドアレイ気象レーダ」を開発～ゲリラ豪雨や竜巻の詳細な 3 次元構造をわずか 10 秒で観測可能に～, https://www.nict.go.jp/press/2012/08/31-1.html
3 佐藤 晋介, 花土 弘, “フェーズドアレイ気象レーダーのリアルタイム観測データの利用,” 情報通信研究機構研究報告, リモートセンシング技術特集, vol.65, no.1, pp.9–14, 2019.
4 NICT 報道発表, “世界初の実用型「マルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダ（MP-PAWR）」を開発・設置,” https://www.nict.go.jp/press/2017/11/29-1.html
5 NICT お知らせ, “最新気象レーダー MP-PAWR のデータ配信プラットフォーム「きゅむろん」（β版）を公開,” https://www.nict.go.jp/publicity/topics/2024/05/22-1.html

6 “「2025 年大阪・関西万博アクションプラン」の詳細，” p.73, https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/expo_suisin_honbu/pdf/apver7_kohyou.pdf
7 NICT 報道発表，“NICT、大阪大学、防災科研、PFN、理研、エムティーアイが 2025 年大阪・関西万博における高精度気象予測情報の提供に向け連携を開始，” https://www.nict.go.jp/press/2025/03/26-1.html
8 NICT 報道発表，“30 秒ごとに更新するゲリラ豪雨予報ー首都圏でのリアルタイム実証実験を開始ー，” https://www.nict.go.jp/press/2020/08/21-1.html
9 NICT 報道発表，“大阪・関西万博会場周辺のゲリラ豪雨予報ースパコン「富岳」と次世代気象レーダ 2 台を使った実証実験ー，” https://www.nict.go.jp/press/2025/07/30-1.html
10 Miyoshi, T., M. Kunii, J. J. Ruiz, G.-Y. Lien, S. Satoh, T. Ushio, K. Bessho, H. Seko, H. Tomita, and Y. Ishikawa, “Big Data Assimilation revolutionizing severe weather prediction,” Bull. Amer. Meteor. Soc., vol.97, pp.1347–1354, 2016. doi: 10.1175/BAMSD-15-00144.1
11 Miyoshi, T., G.-Y. Lien, S. Satoh, T. Ushio, K. Bessho, H. Tomita, S. Nishizawa, R. Yoshida, S. A. Adachi, J. Liao, B. Gerofi, Y. Ishikawa, M. Kunii, J. J. Ruiz, Y. Maejima, S. Otsuka, M. Otsuka, K. Okamoto, and H. Seko, “Big Data Assimilation toward post-peta-scale severe weather prediction: An overview and progress,” Proc. of IEEE, vol.104, pp.1–25, 2016. doi: 10.1109/JPROC.2016.2602560
12 Baron, P., K. Kawashima, D.-K. Kim, H. Hanado, S. Kawamura, T. Maesaka, K. Nakagawa, S. Satoh, and T. Ushio, “Nowcasting Multi-Parameter Phased-Array Weather Radar (MP-PAWR) echoes of localized heavy precipitation using a 3D Recurrent Neural Network trained with an adversarial technique,” J. Atmos. and Ocea. Tech., vol.40, issue 7, pp803–821, 2023, https://doi.org/10.1175/JTECH-D-22-0109.1
13 Baron P., S. Otsuka, S. Satoh, S. Kawamura, and T. Ushio, “Real-Time Nowcasting of Sudden Heavy Rainfall Using Artificial Neural Network and Multi-Parameter Phased Array Radar,” SOLA, vol.21, pp.319–328, 2025, https://doi.org/10.2151/sola.2025-039

佐藤 晋介（さとう しんすけ）

電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
リモートセンシング研究室
総括研究員
博士（理学）
レーダー気象学、リモートセンシング
【受賞歴】
2014 年　文部科学大臣表彰、科学技術賞開発部門、気象用フェーズドアレイレーダの開発

花土 弘（はなど ひろし）

電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
リモートセンシング研究室
研究マネージャー
マイクロ波リモートセンシング

Philippe BARON（ふぃりっぷ ばろん）

電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
リモートセンシング研究室
総括研究員
Ph.D.
AI, Remote Sensing

河谷 能幸（かわたに よしゆき）

電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
リモートセンシング研究室
研究員
水文学

辻 隆之（つじ たかゆき）

電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
リモートセンシング研究室
有期研究技術員
リモートセンシング