

実社会への導入が進む フェーズドアレイ気象レーダ

大阪大学大学院工学研究科
電気電子情報通信工学専攻 教授 牛尾 知雄

(1) はじめに

リモートセンシング技術の代表例の一つであるレーダ(RADAR)システムは、送信アンテナから放射されたパルス状の電磁波の対象物による散乱信号を受信し、その時間差および振幅から対象物までの距離と形状等に関する情報を得るのがその原理である。電磁波を用いることから何十あるいは何百kmという広範囲を短時間で計測することが可能であり、航空機検出、追尾等、そして気象レーダとして広く用いられている。本稿では、地球環境あるいは防災用途との関連について述べたい。

近年の地球温暖化による環境変動は、我々の生存そのものを脅かすまでになってきている。例えば、気象庁のWebページを見ると、最近数十年の一時間あたりの50mm/hを超えるような豪雨の発生件数の時系列が公開されている。概ね右肩上がりの増加傾向を示しており、今後の常態化に対応するため、その予測と対応が求められている。

このような背景を示す象徴的な事故が、2008年に神戸で起きた、都賀川水難事故として知られる2008年7月28日に兵庫県神戸市灘区の都賀川で発生した悲劇的な水難事故は、神戸市に突発的、局所的な集中豪雨が発生し、水遊びなどで都賀川や河川敷にいた16人が急激な水位上昇により流され、小学生2人、保育園児1人を含む5人が死亡した事故である。

こうした現象を計測する最も有効な手段は、電磁波を用いたリモートセンシング技術であり、レーダ技術としてよく知られている。この手段の利点は、何十あるいは何百kmという広範囲な領域に分布している降雨の構造を電磁波を用いて、瞬時に把握できる点にある。このため、国土交通省や気象庁等は日本全土を覆うように大型レーダ観測網を整備し、我々もWeb等で降雨の分布状況を知ることができる。そして、このようなレーダ観測網によって捉えられた降雨分布図を用いて、自治体などでは避難指示などの判断に役立てられている。これが現状である。

(2) 課題

現在広く用いられているレーダは、パラボラタイプの

アンテナが用いられ、1度前後の細いビーム幅内の領域を、方位角方向に360度回転しながら、仰角を徐々に上げて観測していく機械的な走査方法が用いられている。しかし、この方法では、地上付近の走査のみでは1分から5分程度、3次元立体観測には、5分から10分以上必要となっている。これに対して、前述の局地的豪雨をもたらす積乱雲は、10分程度で急速に発達し、竜巻もわずかな数分で発生し移動するため、これまでのレーダ方式では、こうした現象をスナップショット的に捉えることはできても、その発生から発達そして消滅までの過程を連続的に逐次、観測することは難しかった。これが、これらの大気現象の生成メカニズムの解明、予兆現象の発掘、迅速な警報、予知を阻む大きな要因の一つであった。

(3) フェーズドアレイレーダの開発

このような状況に対して、東芝、情報通信研究機構と大阪大学の産官学連携グループは、フェーズドアレイ方式という機械的なアンテナ走査ではなく、電子的・ソフトウェア的な走査方法を用いることによって、観測時間を大幅に短縮、10秒から30秒という飛躍的に短時間で詳細に、降雨の3次元立体を可能とする、Xバンドフェーズドアレイドップラーレーダを開発することに成功した。その外観写真を図1に示す。

フェーズドアレイレーダとは、従来のレーダのように



図1 大阪大学吹田キャンパス電気系建屋屋上に設置されているフェーズドアレイレーダの写真

Heavy precipitation event captured by PAWR (2015/8/8)

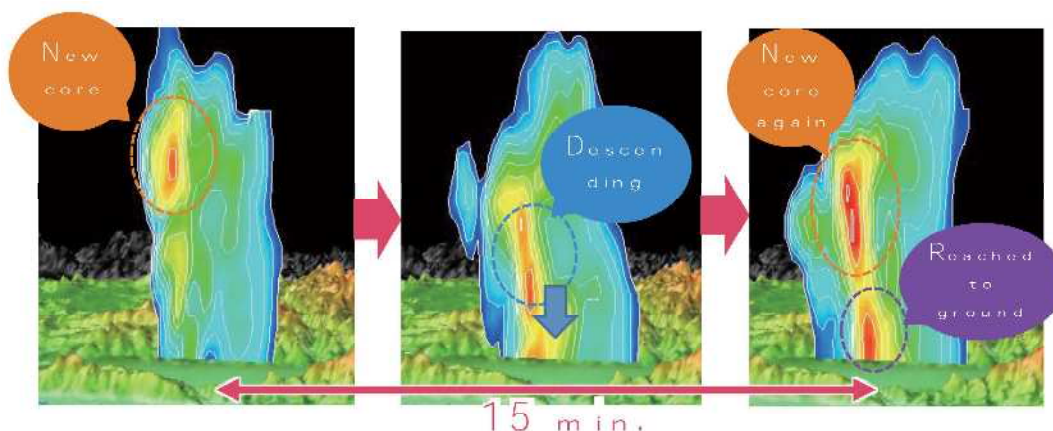


図2 フェーズドアレイ気象レーダに捉えられた積乱雲の鉛直断面図

アンテナを上下左右に機械的に動かすのではなく、平面的に配列した多数の小さなアンテナからそれぞれ放射する電磁波の位相を回路上で制御することで、これらのアンテナからの電磁波を合成して、走査するレーダのことを言う。高速にビームを形成することが可能なことから、機械駆動式に比して、高速な走査に向いている。

2012年の5月に大阪大学吹田キャンパスの電気系E3棟屋上に設置を行ってから、現在に至るまで年間を通じて、継続的に観測を行っている。観測事例の一例を、図2に示す。これは、2015年8月8日に計測された積乱雲の鉛直断面図である。これまでのレーダによる比較図がないので、分かりづらいかもしれないが、積乱雲の内部構造が高解像度で捉えられており、積乱雲内部の何処で、どの時間に豪雨の源となる予兆現象が生成されてようとしているのか、本レーダを用いることによって明瞭かつ正確に捉えられていることが示されている。こうした情報を適切に取り出し、処理することによって、これまでに比して格段に高い精度で予測が可能になることが示唆されている。

開発後、現在に至るまで様々なタイプの降水イベント

や積乱雲が観測され、多くの研究プロジェクトが、これを機に開始された。例えば、神戸にある理化学研究所「京」コンピュータとのプロジェクトでは、本レーダのデータを「京」にリアルタイム伝送し、データ同化と呼ばれる気象予測の最新手法に入力することによって、どの程度の予測と対策が可能かを検討した。予測結果は、スマホのアプリによって誰でも見ることができ、ダウンロード数は、こうしたアプリの中で、2番目に多かったそうである。こうした成果によって、「京」から「富岳」に移行する際の、「京」による代表的な研究成果として、多くのTVニュースや新聞で取り上げられることとなった。

また、こうした成果により、フェーズドアレイ気象レーダを全国に配備し、実運用システムとして整備したいという声が多く寄せられるようになった。これを受けて、レーダで送信する電磁波の縦と横の両偏波を利用した2重偏波フェーズドアレイ気象レーダの開発プロジェクトが発足することとなった。

(4) 2重偏波フェーズドアレイ気象レーダの開発

幸いにも2014年度より戦略的イノベーション創造プロ



図3 2重偏波フェーズドアレイ気象レーダの外観写真

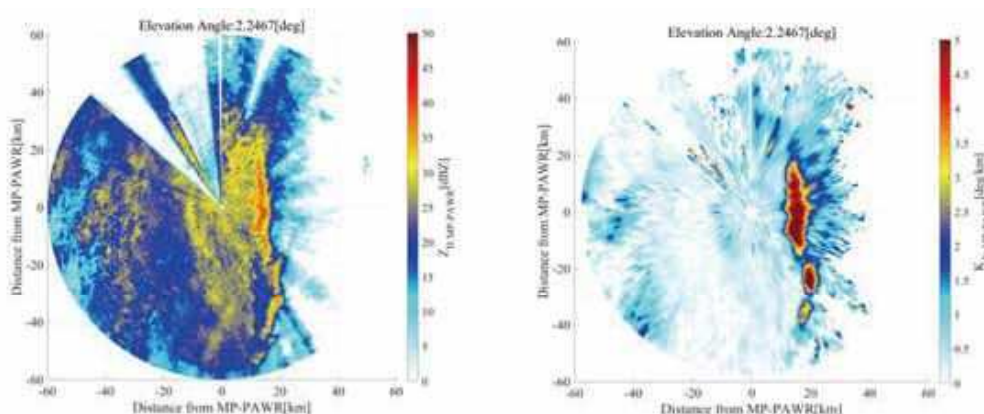


図4 2重偏波フェーズドアレイ気象レーダによる観測例。左がレーダ反射因子，右が偏波間位相差。

グラム (SIP: Strategic Innovation Promotion Program) の一課題として採択頂き、現在、この一期目を終え、二期目に入っている。一期目においては、その主眼は、上記の2重偏波フェーズドアレイ気象レーダの開発であり、このシステムを、今度は、首都圏に配置し、東京オリンピックで demonstration をすることを目指した。2017年12月に完成した2重偏波フェーズドアレイ気象レーダの外観図を図3に示す。また、本レーダによって計測された降雨による散乱信号の2重偏波の観測事例を図4に示す。図4において、左図がレーダ反射因子であり、これは単偏波のレーダにおいて雨量に変換される物理量になる。一方、右図は電磁波の縦と横の偏波によって観測される散乱波の縦と横の位相差である。レーダで計測するのは、雨粒の集合体であり、大きな雨粒ほど円形から楕円形に、落下中に、変形することが知られている。このため、右図において、強い暖色系で示される領域が雨量の大きな領域に対応しており、これは左図においても傾向が一致していることがわかる。この右図の物理量が、より正確に雨量に対応することがわかっており、今回のフェーズドアレイ化によって、高速かつ正確な雨量推定が可能となった。

(5) 今後の計画

以上見てきたように、本レーダによって捉えられたデータが示している画像あるいは動画は、極めて印象的であり、このフェーズドアレイレーダのポテンシャルの高さを示している。これらの成果によって、本研究分野では世界を現在リードしていると言っても過言ではない。

今後、これらのレーダを用いて得られる詳細な3次元観測データは、短時間に大雨をもたらす積乱雲のメカニズムを明らかにしていくであろう。これは、基礎科学的に大きなブレイクスルー、発見が、本レーダを用いてなされることを意味する。そして、これは基礎科学的な分野においても世界をリードすることになっていくであろう。さらに、「富岳」と連携した気象予測の高精度化、高度化は、これまでの気象予測の概念を大幅に変えていくであろう。現在、東京オリンピックの実施は、執筆時現在、コロナウイルスの感染拡大に伴い不透明であるが、内閣府によるチームは、2021年夏のオリンピックにおいて demonstration を行うことで準備中である。また、更に進んだレーダシステムを引き続き研究開発中である。これが実現されれば、また、これまでの概念自体が変わるようなインパクトがあるのではと期待している。

最後になるが、この一連のレーダプロジェクトは、産官学の連携が背景としてある。産の製作能力、官の調整能力、そして学の研究能力と知識は、お互いに補い合い、大変効果的である。(株)東芝および情報通信研究機構(NICT)とは、長年にわたって共同研究を行っており、そこで築かれた信頼関係が土台である。今後、以上のような取組を引き続き行っていきたいと考えている。今後も変わらぬご支援、ご鞭撻をお願いする次第である。最後になりましたが、この機会を与您いただきました各位に感謝致します。

(電気 平成5年卒 7年前期 10年後期)