

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
電気電子情報工学専攻 准教授

牛尾 知雄

(1) はじめに

電波応用工学あるいは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) は、Radio Detection And Ranging の略語であり、送信アンテナから放射された電磁波が、検知対象物で散乱あるいは反射された後に受信され、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。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なことから、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。このようなレーダ技術は元々、軍事技術との関連が深い、本稿では環境あるいは防災用途との関連について述べたい。

2012年5月のつくば市における竜巻被害や毎年繰り返されるゲリラ豪雨被害など、近年の社会の高度化に伴って、こうした大気現象による悲劇的な事故は増加傾向にある。このようなゲリラ豪雨や竜巻などを引き起こす積乱雲等の気象現象を、最短10秒で立体的に観測することが可能な X バンドフェーズドアレイドップラー気象レーダの開発に、株式会社東芝、独立行政法人情報通信研究機構、国立大学法人大阪大学の3者が成功した。このレーダでは、従来のような機械的な走査を行う方式に比して、電子走査方式を用いることによって、観測に要する時間を従来に比して飛躍的に向上、世界最高の性能を実現している。2012年より、大阪大学吹田キャンパス電気系建屋の屋上に設置し、継続的に観測を行っている。本稿では、このレーダ開発の概要や観測結果を展望し、今後の取り組みについて紹介したい。

(2) 背景

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をご記憶だろうか？この事故は、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。あるいは、2013年9月に埼玉県越谷で起きた竜巻事故や2014年8月の広島での水害事故も記憶に新しいと思う。近年、ゲリラ豪雨として知られる、このような突発的かつ局所的に甚大な被害をもたらす豪雨あるいは竜巻のような大気現象が、実は増加傾向にあるといわれている。そして、これは急速な都市化や地球温暖化の結果であり、今後の常態化が指摘されている。

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、瞬時に把握できるところにある。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。

(3) 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 (dish type と呼ばれるが、お皿のような形という意味である) 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。

(4) 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(図1)。



図1 大阪大学吹田キャンパス電気系建屋屋上に完成したフェーズドアレイレーダ

フェーズドアレイレーダとは、従来のレーダのように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。

図2に、今回開発を行ったレーダのアンテナ部分を示す。この平面上のパネルの下に、128本の導波管スロットアンテナが配列されており、この128本のアンテナ素子の内24素子を用いて、10度前後の比較的広い送信ビームを、仰角方向に地表面付近の0度から天頂方向の90度近くまで、10回程度電子的に切り替えて送信している。これがフェーズドアレイ方式によるビーム送信になる。そして、降水粒子群によって後方に散乱された散乱波を、128素子それぞれのアンテナで受信後、デジタル変換処理を行い、ソフトウェア上で合成処理を行って、約1度の受信ビーム幅を得ている。これを、デジタルビームフォーミング技術と言

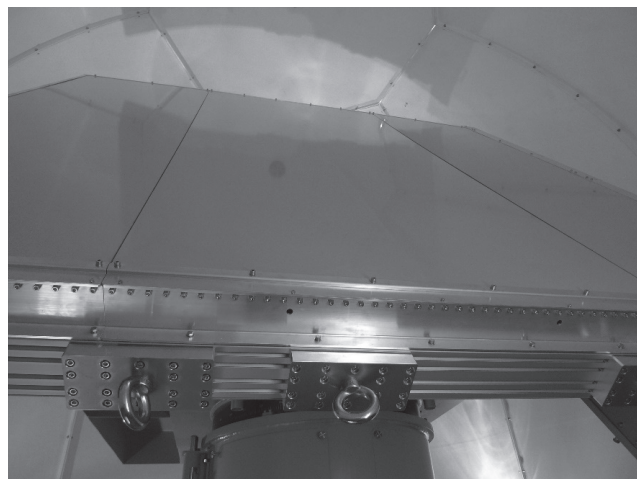


図2 白いレドーム内に格納されたフェーズドアレイアンテナの本体

う。このようなフェーズドアレイおよびデジタルビームフォーミング技術の組み合わせによって、仰角方向にアンテナ面を機械的に動かすことなく、100仰角にわたって高速に走査することが可能となった。その後、方位角方向には機械的に回転させることで、半径約15kmから60km、高度15kmまでの範囲における隙間のない詳細な3次元降水分布を、10秒から30秒で観測している。

(5) 観測例と考察

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。その間に様々なタイプの降水イベントや積乱雲が観測されたが、ここでは観測の一例として、レーダ設置後間もない頃に観測された例(図3)を示したい。これは、2012年7月6日に観測された事例で、レーダ設置場所である大阪大学吹田キャンパスを、線状の降水システムが西方から東方にかけて通過するイベントであった。右図が、仰角4.35度における断面図を、左図が、レーダ(右図の円の中心)から真西方向における垂直断面図を示している。まず、レーダ設置場所の円の中心から、西方から北方にかけて、線状のエコーが分布していることがわかる。そして、その鉛直断面図である左図をみると、この降水システムが鉛直方向に高く、10km程度まで良く発達し、高度5km近辺に降水強度の大きい降水のコアが形成されていることがわかる。そして、時間を追うごとに、この降水コアがその形状を変えながら、水平に移動すると共に、落下していつていることが良く示されている(映像でお見せできないのが残念ですが、連続的に降水コアの落下の様子が捉えられている)。このように、本フェーズドアレイレーダでは、

このような降水が落下する様子が3次元的に密なイメージとして出力されている。これが、このフェーズドアレイレーダの大きな利点であり、高速スキャンニングによって連続的なイメージとして降水の盛衰発達と細かな動きを追うことが可能となった。そのような

本レーダの利点を観測的・実験的に、実際に示したものがこの図ということになる。このようにして、開発したフェーズドアレイレーダは、短い時間に生成、発達、そして変化する積乱雲の挙動を捉えることに成功した。

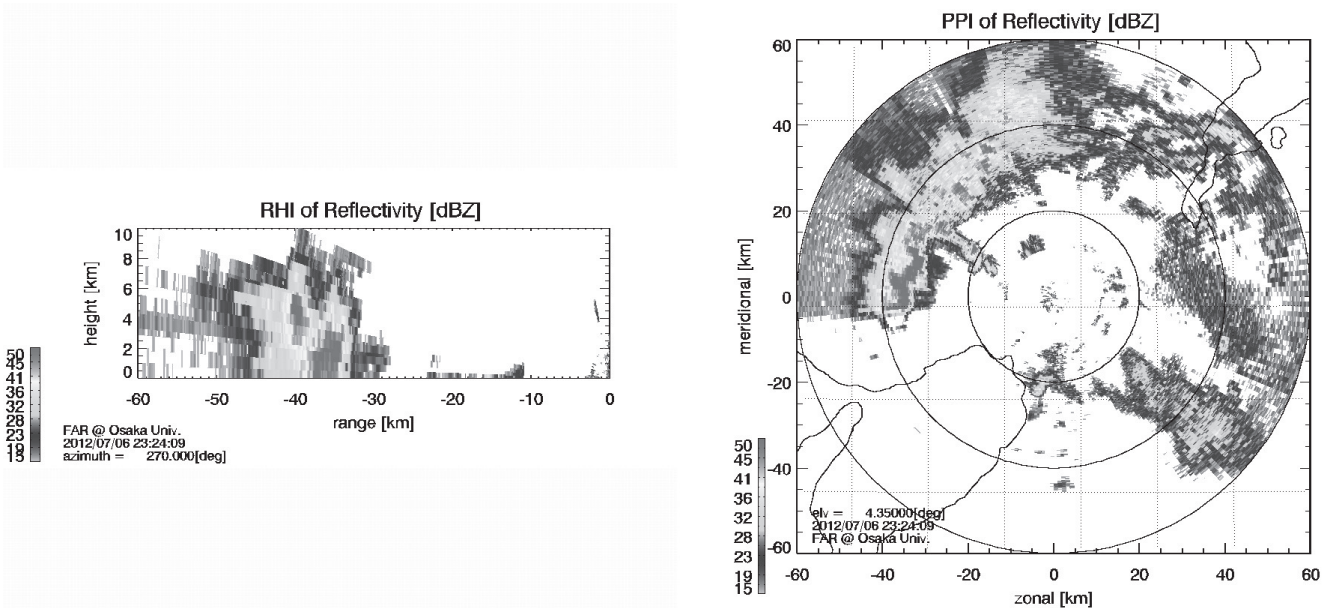


図3 2012年7月6日に観測された事例の時系列変化。右図が、仰角4.35度における断面図。左図が、レーダ(右図の円の中心)から真西方向における垂直断面図。

(6) 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。レーダ開発後、報道機関向けの見学会を行ったところ、多数の報道機関や記者の参加を得ることができ、これまで1000人近くの方々にご見学頂いた。また、海外の学会で紹介したところ、Research Spotlightとして学会誌に特に取り上げられたりもした。さらに、平成28年以降の中学理科の教科書に掲載されることとなっている。

このフェーズドアレイレーダに関する公開シンポジウムを開催したところ、会場に入りきれないほどの盛況だった。これは、ゲリラ豪雨や竜巻などの自然災害に対する社会的な関心の高さを反映しているのではないだろうか。経済的に発展を遂げ、餓えることのない日本となったが、このような自然災害は、高度に発達した社会においても依然として猛威を振るい、我々の生活を脅かす存在である。このような自然災害を少しでも低減し、安心安全な社会を実現するため、情報通信技術を初めとする様々な技術は大きな役割を今後果たしていくことであろう。

今後、局地的大雨や集中豪雨などの現象を対象とし

て、性能評価研究を兼ねた観測を行うと共に、様々な応用に向けた取り組みを行う予定である。幸いにも2014年度より戦略的イノベーション創造プログラム(SIP: Strategic Innovation Promotion Program)の一課題として採択頂いた。このプログラムでは、紹介させて頂いたレーダをさらに高度化し、垂直および水平の2偏波による計測を可能にする2重偏波フェーズドアレイレーダの研究開発を行うこととなっている。これは現在のフェーズドアレイレーダより社会的な反響は大きいであろうし、これによって、本研究分野で世界をさらにリードすることになるであろう。同時に、現在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、気象予測の高精度化、また局所的・突発的な気象災害の前兆現象の検出や短時間予報(ナウキャスト)情報としても応用されていくことであろう。実際、昨年の夏より、試験的ではあるが、大阪市福島区と共同でゲリラ豪雨速報の試験運用を開始した。まだ試験的な運用であり、公共にはオープンにはなっていないが、今後システム上の改良を進め、順次実用に供していきたいと考えている。あるいは

は、列車等の運行システムや航空機の安全運航など交通分野において新たな利用方法の検討を行う予定である。また、本レーダと同一のレーダが、西神戸にあるNICT 関西先端研究センター内に設置された。これにより、これまでの stand alone のシステムから世界初のフェーズドアレイレーダネットワークが運用されようとしている。このようなネットワーク型のレーダシステムは、幾つもの点で大きな利点を有している。このようなネットワーク環境下では、より正確な降水量推定等が可能となるであろうし、システム全体として頑強性も保証されることになる。そして、このような高速高分解能のレーダ群を一つの高精度高分解能の超大型レーダとみなして、そのネットワーク内に散在するレーダそれぞれで様々なアプリケーションが運用される、このような将来像を今描いている。これはまさに次世代の日本の防災システム像であり、紛れもなく世界で最も進んだ、最も安全なシステムとなるであろう。このような大阪大学を中心とした検討結果に基づいて、3年後を目途に首都圏における実証実験を計画している。これは次の東京オリンピックにおいて、例

えば、新国立競技場におけるドームの開閉制御やマラソン等における豪雨からの安全確保、効率的な大会運営に資することを目的としており、世界中のメディア・報道機関が集結するオリンピックを通じて、日本の産業界が世界に宣伝できる絶好の機会といえることができる。また、気象庁気象研究所は、2014年度内に同型のフェーズドアレイレーダを筑波地域に設置し、実用に向けた検討を開始することとなっている。

最後になるが、このレーダ開発の成功には、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互いに補い合い、これほど効果的とは思わなかった。東芝および情報通信研究機構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となった。今後、以上のような取り組み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、この機会を与えて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)