

# フェーズドアレイ気象レーダの研究開発と今後

大阪大学大学院工学研究科 牛尾 知雄

## はじめに

近年の急速な都市化や社会の高度化等のため、豪雨や竜巻など局所的かつ短時間に甚大な被害をもたらす大気現象が重要な社会問題となっている。ここでは、このような災害をもたらす積乱雲あるいは雷雨を測る最新のレーダ技術を取り上げ、その取り組みを紹介したい。なお、本稿はこれまで筆者が行ってきた講演録に手を加えて修正したものである。

## 豪雨を生み出す積乱雲

神戸市に都賀川という川がある。この川は普段、幼児が遊んでいるような流量の少ない、近隣の住民に非常に親しまれている川であるが、2008年7月28日、突然の豪雨によってわずか十数分で氾濫し、4人の死者を出した。近年、竜巻の被害も度々報告されており、2012年5月にはつくば市で、2013年9月には埼玉や千葉で竜巻が発生し、家屋が損壊するなどの大きな被害が出た。住民の話では、「台所で食事をしていたら、突然音がした。見上げると屋根がなくなっていて、初めて竜巻と気付いた」。つまり、「何の前触れもなく突然来て、気付いた時には過ぎ去っている」「非常に局所的だが甚大な被害をもたらす」というのが、突然の豪雨や竜巻の被害の特徴である。そして、これらの現象は増加傾向にあり、地球温暖化の影響ともいわれている。実際、1時間当たりの降水量が50mm以上の発生件数を見ると、1978～2008年で増加傾向にあることがわかっている。このような雷、竜巻、豪雨の生みの親は積乱雲であり、この積乱雲の発達をいかに予測し、減災に結び付けていくか、その研究が今後ますます重要になっていくと思われる。

## フェーズドアレイ気象レーダ

この積乱雲の観測に威力を発揮するのが電磁波を用いたレーダリモートセンシング技術である。レーダは、パルス状の電波を標的に向かって照射し、エコーが返ってくるまでの時間を計って、目的物を探知し、距離を測るのがその原理である。この原理を用いて、現在、大型のレーダ観測網が日本や米国全土を覆うように整備され、日々の予報や警報に使われている。しかし、前述した数十分程度の短時間に被害をもたらす積乱雲や竜巻、マイクロバースト（航空機の離着陸に大きな被害）に至ってはその生成発達から被害をもたらすまでの時間が短く、通常的大型レーダでは、一回の3次元観測に5分から10分程度の時間を要するため、十分な観測が難しかった。

これが、上記のような短時間に甚大な被害をもたらす豪雨や竜巻などの予知や予報、迅速な警報を阻害する主要な要因の一つであった。

そこで、東芝とNICT（情報通信研究機構）、大阪大学は、フェーズドアレイ気象レーダ（図1以下、PAWR）の共同研究開発を、産官学の連携によって行った。



図1 フェーズドアレイレーダの外観（左）とアンテナ（右）

PAWRは、通常のパラボラタイプのアンテナと異なり、2m×2mの板状のアンテナが首振りせず、傾きを固定したまま、地表から天頂まで全仰角を同時に観測する。さらに10～30秒かけて一回転することで、全方位を3次元観測する。即ち、仰角は電子走査、方位角は機械走査となっている。PAWRを従来の大型レーダと比べると、一度に観測できる仰角は10倍以上に増え、観測時間は10分の1に短縮されたので、約100倍以上の性能向上が達成されていると言える。

図2は、PAWRによって2013年7月13日、大阪北部から京都にかけて線状の降水帯が進行する様子が観測されたものを3次元で可視化したものです。このように、数多い仰角数の観測によって3次的に隙間の少ない密なイメージが作成されていることがわかる。さらに詳細に降水の内部構造を見てみると、30秒毎の観測によって積乱雲内部の降水構造の変化が可視化されていることがわかる。

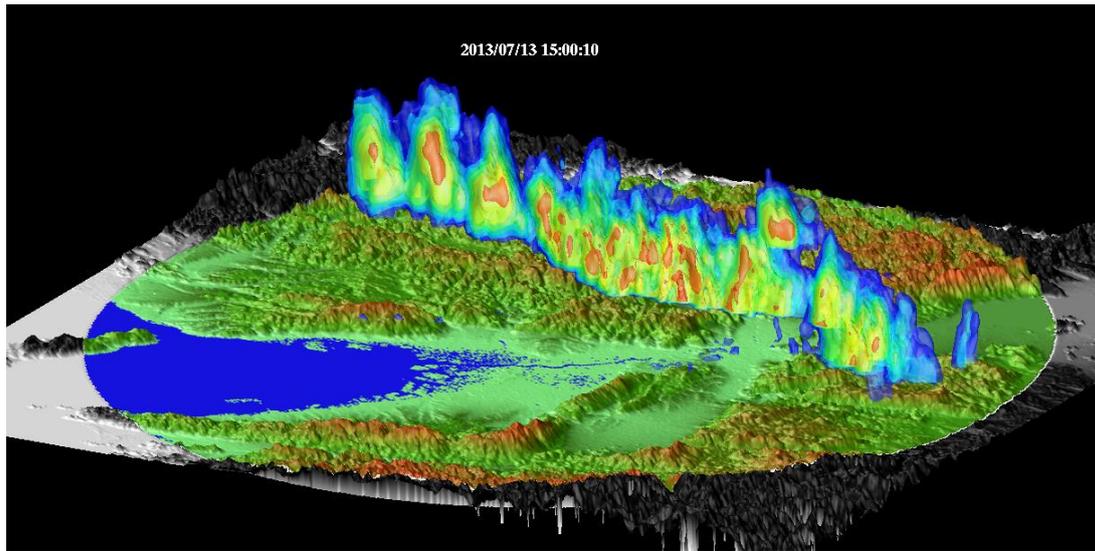


図2 大阪北部から京都にかけて形成された線状の降水帯

例えば、図3に2013年8月5日に観測された事例を示す。この図に示されているように、上空で降水の塊が形成され、徐々に高度が下がり、雨となって地表に落ちるまでを、30秒ごとに観測することに成功している。

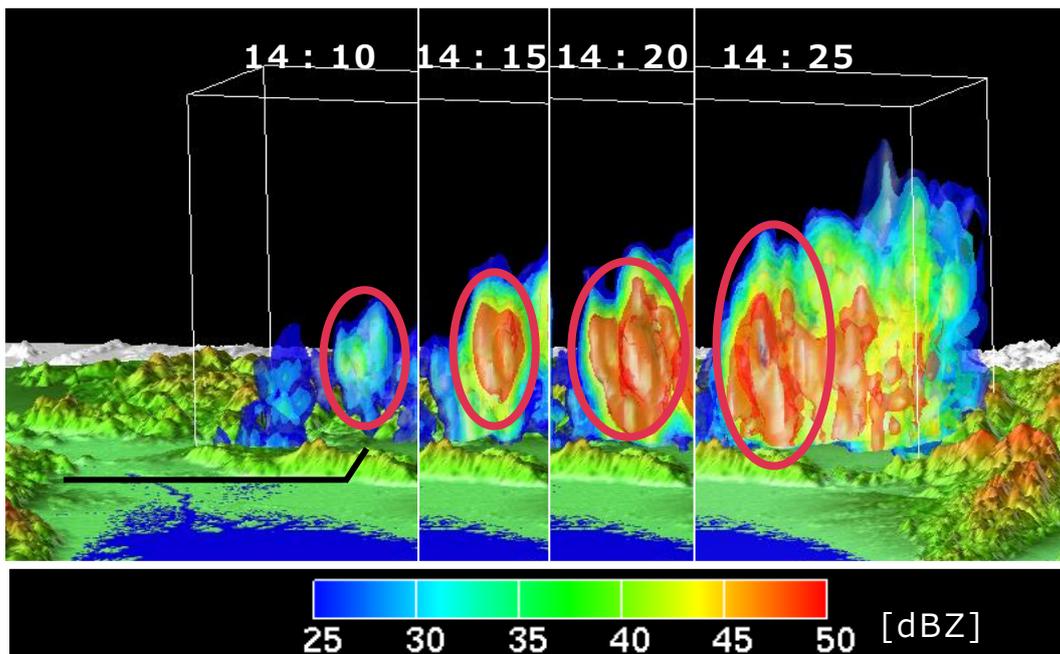


図3 フェーズドアレイ気象レーダが捉えた上空で発達した降水が地上へ落下する様子

このように、上空で降水の塊が形成されて、地上に落下するまで、数分以上の時間がかかるため、上空のデータを適切に解析することによって、これまで以上の精度で豪雨の予知や警報を行うことができる可能性が高い。一方で、大型レーダはデータ更新が5分おきなので、ゲリラ豪雨の卵や竜巻の発生を捉えても、警報などの発出が遅れる可能性がある。

本レーダの開発後、その社会的な反響は大きなものがあった。ほぼ全ての新聞社が、本レーダの開発記事を掲載し、またニュースでも数多く取り上げられた。また、平成28年度からは中学校の理科の教科書にPAWRが掲載されている。さらに、アメリカ地球物理学学会誌にも写真付で紹介され、“Nature”にも記事が掲載された。

### PAWRを使った社会実験

2014年、内閣府は「戦略的イノベーション創造プログラム」(SIP)を開始した。この中で、この研究(PAWRと既存レーダを併用して豪雨や竜巻の発生を予測する技術を高度化し、避難勧告、河川管理、土砂災害予測、鉄道運行管理などに活用する研究)が採択され、現在、その実証実験を関西で実施中である。各種レーダで集めた膨大なデータをコンピュータで高速解析し、結果を大阪府の土木事務所などに設置された端末に配信、ゲリラ豪雨が予測された場合には端末のアラームが鳴ることになっている。さらに、東京オリンピックでは、研究の成果をゲリラ豪雨の短時間予報と観客の早期避難誘導という形で生かす計画が進行中である。

また、このSIPのプログラムでは、さらに進んだレーダの開発も進められている。雨滴は極小だとほぼ円形であるが、大きくなるに従い、落下中に空気抵抗を受けて扁平する。この雨滴の扁平率を計測する偏波フェーズドアレイ気象レーダの開発を今、行っている。この偏波レーダでは、正確な降雨量の推定が可能であり、その機能に高速性を付加したフェーズドアレイレーダは、次世代のレーダシステムの一つの形であると期待されている。そして、今後の気象レーダは、フェーズドアレイ型のレーダに取って代わっていくであろう。

以上、見てきたように、電磁波計測技術の進歩により、これまで良く見えていなかった事象を可視化することができ、そこから新たな応用が見えてきている。今後の実証実験の結果に期待したい。

最後に、この場をお借りして深く御礼を申し上げたい。受賞のきっかけとなったフェーズドアレイ気象レーダは、情報通信研究機構と東芝との産官学の連携プロジェクトによって研究開発された。このプロジェクトの予算化、実行まで数多くの関係者、学生達の尽力なしでは一切のことが成り立たなかったと言っても過言ではない。ここに伏して深謝したい。どうもありがとうございました。

## 用語解説

### **レーダ**

電波を対象物に向けて発射し、対象物によって反射あるいは散乱された電波が受信されるまでの時間を計測することによって、対象物までの距離や対象物に関する情報を得る電子システムの総称。

### **フェーズドアレイ気象レーダ**

多数のアンテナ素子を配列し、それぞれの素子における送信及び受信電波の位相を制御することで、電子的にビーム方向を変えることができるレーダ。パラボラアンテナを機械的に回転させるレーダと異なり、瞬間的にビーム方向を自由に変化させることができるため、特に高速走査を必要とされる用途に向いているとされる。

### **降水の 3 次元立体観測**

一般に配信されるレーダ観測情報は、地図上にマッピングされた地上付近の(2次元)降雨分布のみであるが、雨は上空の雲中で生成され成長しながら地上に落下してくるため、上空の降水(雪・霰・雨など)の3次元構造を観測することで、大雨のメカニズム解明や10～30分程度の短時間予測が可能となる。既存の気象レーダでも、通常3次元観測を行っており、「ゲリラ豪雨の卵」や「竜巻の親雲」などが観測されているが、それらのより詳細な鉛直構造や時間変動が求められている。