

フェーズドアレイ気象レーダによる観測事例

Observation Results by Phased Array Weather Radar

諸 富 和 臣 嶋 村 重 治 島 田 尚
Kazuomi Morotomi Shigeharu Shimamura Takashi Shimada

要 旨

近年、日本では発達した積乱雲による大雨の発生頻度が高くなっており、これが甚大な気象災害の一因となっている。こうした積乱雲を短い時間間隔で立体的に観測できる装置がフェーズドアレイ気象レーダ（以下PAWR: Phased Array Weather Radar）である。従来のパラボラ式気象レーダでは、積乱雲を立体的に観測するために5分程度かかっていたが、新たに開発したPAWRでは、30秒で観測できるため、早期探知や短時間予測に威力を発揮すると考えられる。本稿では、積乱雲が短時間で急速に発達する様子や積乱雲内部での強い降水コアの落下など、従来のパラボラ式気象レーダでは見ることのできなかったPAWR特有の観測事例を報告する。

Abstract

In recent years, in Japan, the frequency of generating heavy rain due to developed cumulonimbus has increased, and this has contributed to serious meteorological disasters. The equipment which can observe such a cumulonimbus three-dimensionally with a short time interval is Phased Array Weather Radar (hereafter PAWR). Conventional weather radars with a parabolic antenna take about 5 minutes to observe a cumulonimbus in three dimensions, whereas newly developed PAWR takes only 30 seconds. It is therefore considered extremely useful for early detection and short-time prediction of the phenomena. This article reports the observation results specific to PAWR which have not been possible by using the conventional weather radar with a parabolic antenna, such as the process of a cumulonimbus rapidly developing in a short period of time and the descent of high intensity precipitation core in the cumulonimbus.

1. まえがき

日本では1時間に50 mmを超える非常に激しい雨や80 mmを超える猛烈な雨の発生頻度が、年々増加している⁽¹⁾。こうした大雨の多くは、発達した積乱雲によってもたらされる。積乱雲は気温の高い夏季に特に発達しやすく、雲頂高度15 km以上に発達することもある。個々の積乱雲の発生、発達、衰退のライフサイクルは最大1時間程度である。発達に関しては特に急速で、10分間で鉛直方向に5 km以上発達する場合がある⁽²⁾。また、上空（例えば、高度5 km）で形成された雨粒は、10分程度で地上に落下してくる。

このように短時間で変化する現象を捉えるため、当社は積乱雲を短い時間間隔で立体的に観測できるXバンドフェーズドアレイ気象レーダ（以下PAWR: Phased Array Weather Radar）を開発した⁽³⁾。

2019年11月現在、日本では計6基のPAWRが稼働しており（図1）、大学や研究機関等によって、局地的大雨や突風現象の早期探知、及び早期予測に向けた研究が進められている。

このうち千葉のPAWR（図1赤色円※）は、当社が民間企業で唯一独自に開発したもので、2015年から試験運用を続けており、現在、半径80 km、高度20 kmまでの領域を30秒毎に観測している。図2にPAWRと従来のパラボラ式気象レーダ（パラボラ式）の観測方法の違いを示す。PAWRの大きな特長は、次の通りである。

①時間分解能が高いこと

→パラボラ式では5分程度かかる立体観測が、PAWRでは30秒で可能

②空間分解能が高いこと

→パラボラ式では仰角0から90度の間を10数本のサンプリング（図3の右）であるが、PAWRでは100本以上のサンプリング（図3の左）が可能

本稿では、2015年から2019年の4年間で得られた観測データから、パラボラ式では見ることのできなかったPAWR特有の観測事例を報告する。



図1 日本のPAWR設置状況とPAWRの外観

Fig.1 Installation of PAWR in Japan

※ 円はおおよその観測範囲（当社調べ）を示す
※ 赤色円は当社が開発したPAWRの観測範囲を示す

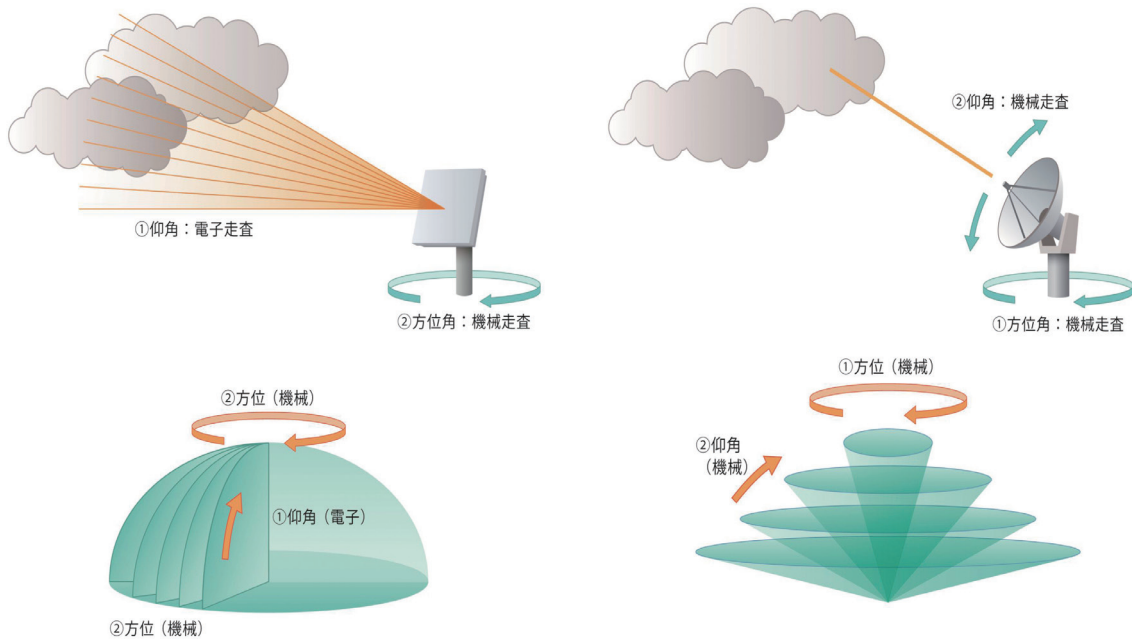


図2 フェーズドアレイ気象レーダ（左）と従来のパラボラ式気象レーダ（右）の観測方法の差異
Fig.2 Difference of observational method between PAWR and conventional radar

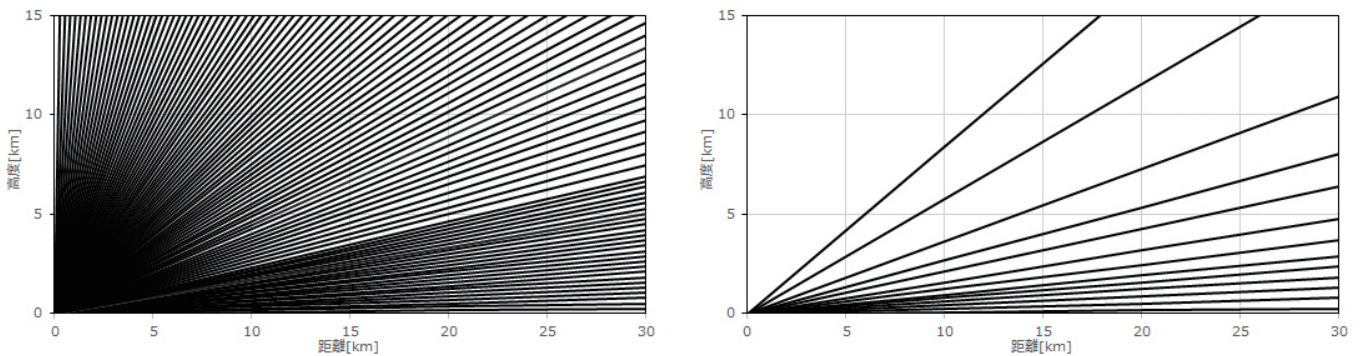


図3 フェーズドアレイ気象レーダ（左）と従来のパラボラ式気象レーダ（右）の観測仰角数の差異
Fig.3 Difference of the number of observational elevation between PAWR and conventional radar with a parabolic antenna

2. 積乱雲の観測事例

図4は、2018年8月27日夜に東京近郊で発達した積乱雲をPAWRで捉えた反射強度（雨が強いと値も大きくなる）の3次元図である。この発達した積乱雲は、高度18 kmに達し、埼玉県や東京都に局地的大雨をもたらした。東京都練馬では20時までの1時間に71 mmの降水が地上で観測され、一部では突風や降雹も確認された。また発達した積乱雲の特徴であるアンビルのエコーが積乱雲の東側に流されている様子も捉えることができた。PAWRでは、上記のような積乱雲の立体的構造が30秒間隔で観測できるため、3次元図を時系列（当社Webサイト「技術情報」に動画を掲載：https://www.jrc.co.jp/jp/about/activities/technical_information/report71/video/report71_mv01.mp4）で見ると、積乱雲の対流の様子が良く分かる。特に雲頂付近では、噴水のようにエコーが湧き上がる様子も捉えることができた。

図5は、19時25分から19時31分まで1分間隔で積乱雲発達の様子を示した図である。19時25分、高度11 kmであった積乱雲は、6分後の19時31分に高度16 kmに達している。すなわち6分間で5 km程発達していることが分かる。

この観測事例の様に、積乱雲は短時間で急速に変化するが、PAWRを用いることで従来のパラボラ式では見えなかったエコーの立体的な動きが観測できるようになった。例えば、上空で形成される雨をあらかじめ観測することで、どこに降ってくるか、どれほどの強さの雨なのか、あらかじめ予測するための情報として活用できると考えられる。

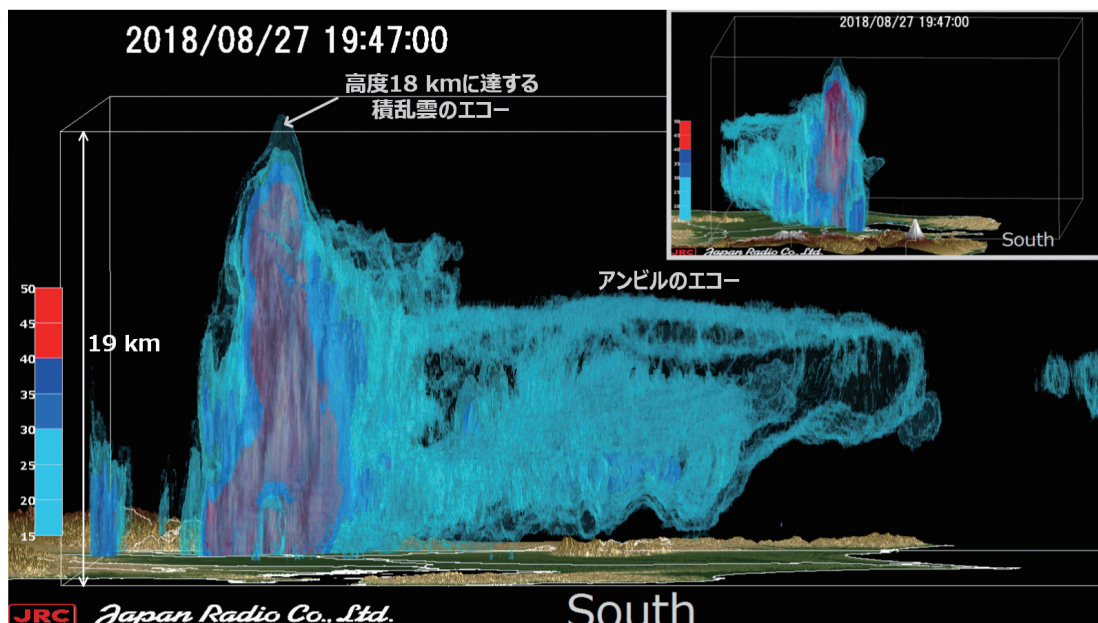


図4 2018年8月27日、東京近郊で発達した積乱雲の反射強度3次元図。右上図は西からの鳥瞰図
 Fig.4 3D reflectivity of developing cumulonimbus at Tokyo Urban Area on August 27, 2018

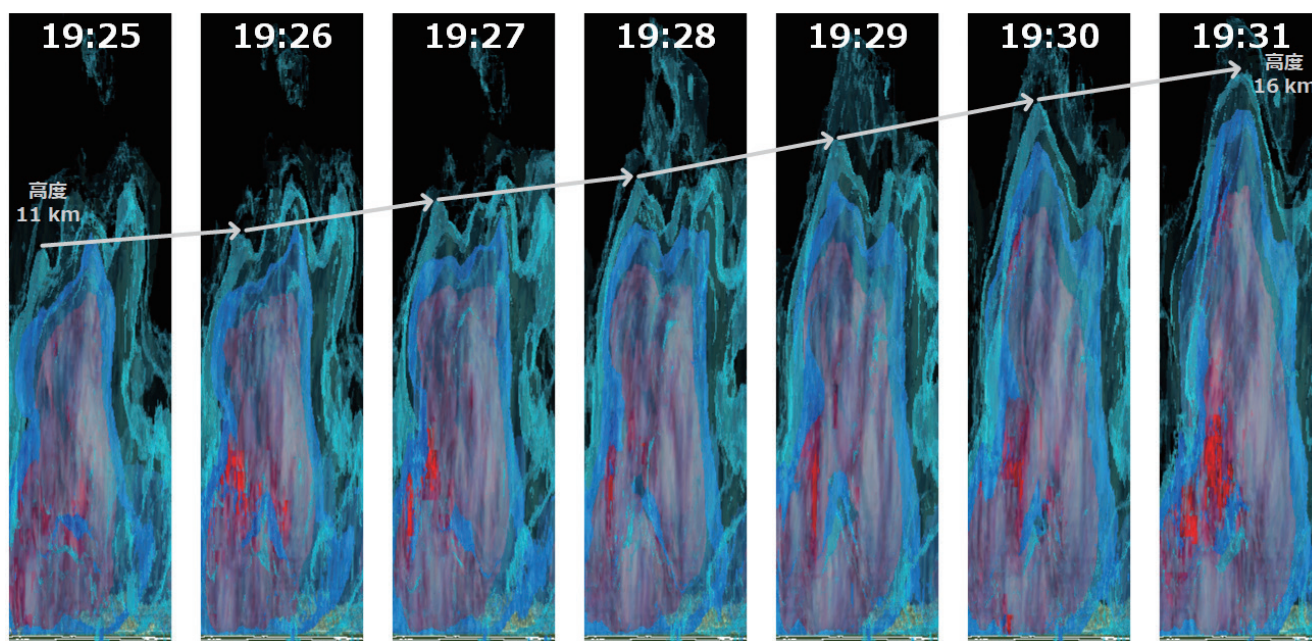


図5 反射強度3次元図の時系列 (19時25分から1分毎)
 Fig.5 Time series of 3D reflectivity from 1925 JST to 1931 JST on August 27, 2018

3. ガストフロントの観測事例

ガストフロントとは、積乱雲からの冷たい下降流が地上に達し水平に拡散する際に生じる、周囲の暖気との境界面をいう。図6は、2016年8月4日昼過ぎに千葉市の湾岸地域で発達した積乱雲から発生したガストフロントを捉えた様子である。ガストフロントが積乱雲から手前方向に拡がりながら伝搬していることが確認できる。一般的にガストフロントは、突風、風のシア（急激な変化）、新たな積乱雲の発生をとまうことがあり、航空機の安全な航行に支障をきたすため、監視対象として重視される。

PAWRは、ガストフロントの立体構造だけでなく、その発

生要因である積乱雲内部での強い降水コアの落下を検出することができる⁽⁴⁾。図7は、ガストフロントが観測される約30分前に高度3 km付近で観測された反射強度のエコーである。12時42分に上空高度3 kmでエコーが検出され、その後、急速に発達し、4分後の12時46分にエコーが地上に到達していることが分かる。また、さらに3分後の12時49分には、反射強度40 dBZ以上（図中の赤色領域）の非常に強いエコーが地上に達している。強い降水は、航空機の事故原因として知られるダウンバースト（積乱雲内の強い下降流）の発生要因でもある。以上のことから、PAWRはエコーが地上に到達する前に短い時間間隔で観測できるため、ダウンバースト予測にも貢献すると考えられる。

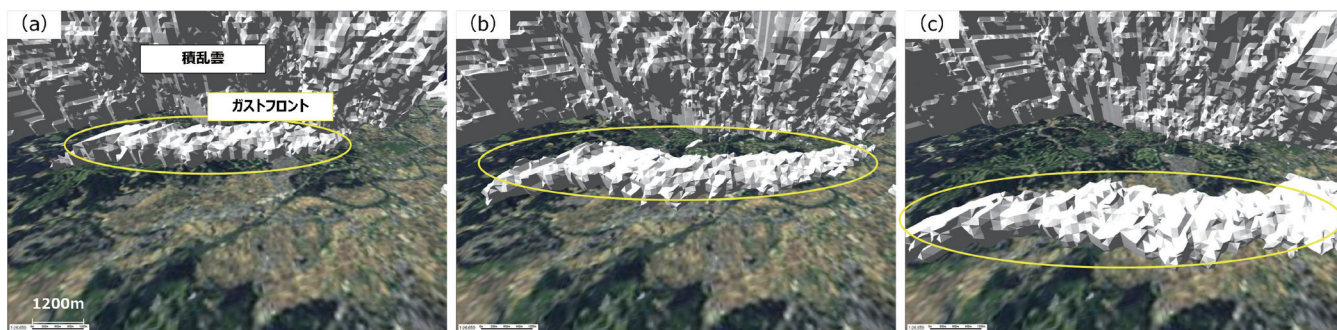


図6 2016年8月4日, ガストフロントの3次元図 (13時14分から5分毎)

Fig.6 3D reflectivity of the gust front at (a) 1314 JST, (b) 1319 JST, and (c) 1324 JST on August 4, 2016

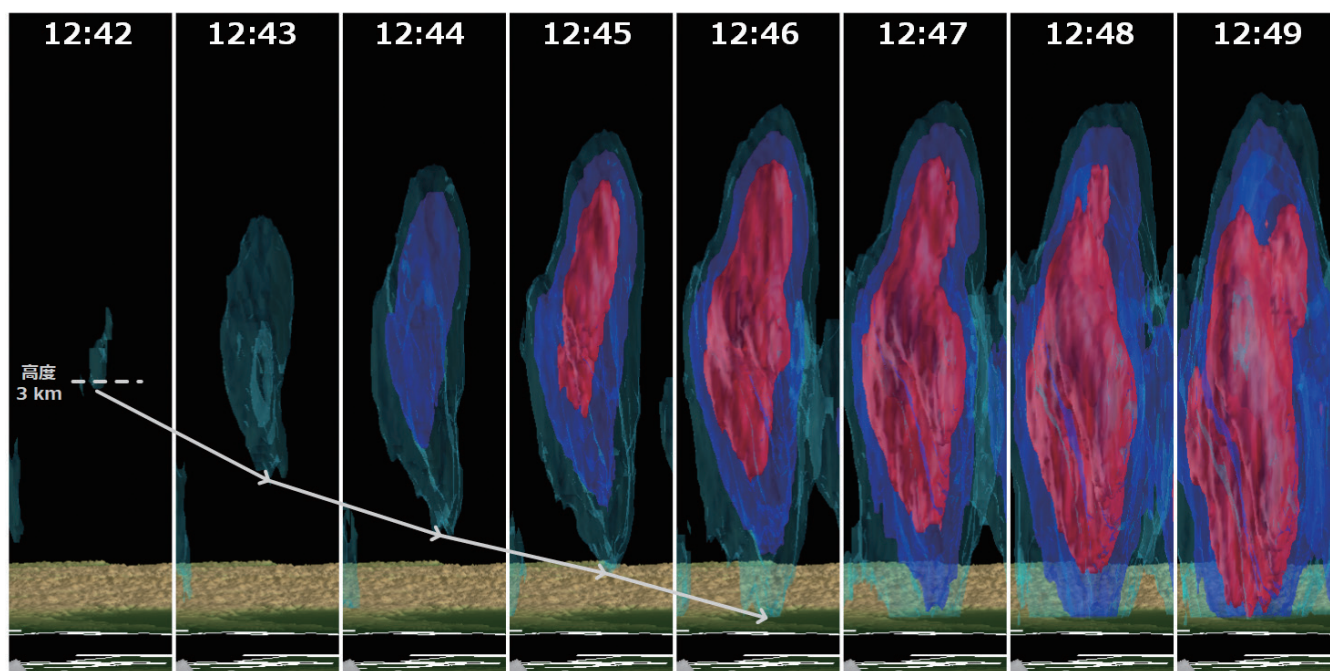


図7 反射強度3次元図の時系列 (12時42分から1分毎)

Fig.7 Time series of 3D reflectivity from 1242 JST to 1249 JST on August 4, 2016

4. あとがき

本稿では、2015年に当社が独自開発し、試験観測を続けている新型気象レーダ「PAWR」による積乱雲の観測事例を紹介した。PAWRによって、パラボラ式では観測することのできなかったエコーの立体的な動きを高い精度で観測することができた。このことは、PAWRが局地的大雨や突風などの極端気象の予測に非常に有効な観測装置であることを意味する。日本各地に現在設置されているパラボラ式がPAWRに置き換わることにより、降水予測の精度が向上し、甚大な気象災害の低減に大きく貢献することが期待される。

参考文献

- (1) 気象庁, 大雨や猛暑日など(極端気象)のこれまでの変化, 気象庁: https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html
- (2) Fumiaki Kobayashi, Toshiaki Takano and Tamio

Takamura, Isolated Cumulonimbus Initiation Observed by 95-GHz FM-CW Radar, X-band Radar, and Photogrammetry in Kanto Region, Japan, SOLA, 7, 125, 2011.

- (3) 柏柳太郎, 佐藤治, 諸富和臣, 菅原博樹, 短時間3次元観測を可能にするフェーズドアレイ気象レーダの開発, 日本無線技報, No.68, pp.13-16, 2017.
- (4) 諸富和臣, 柏柳太郎, 小林文明, 鷹野敏明, 樋口篤志, 高村民雄, 岩下久人, フェーズドアレイ気象レーダで観測された2016年8月4日のガストフロント, 日本気象学会秋季大会, 講演予稿集, 238, 2017.

用語一覧

アンビル: 積乱雲が発達限界高度(対流圏界面)に達し、雲頂部で水平方向に拡がった雲
 ガストフロント: 積乱雲からの冷たい下降流が地上に達し、水平方向に拡がった際に生じる周囲の暖気との境目
 風のシア: 風の急激な変化
 ダウンバースト: 積乱雲内の強い下降流