

高分解能 1.3GHz 帯ウィンドプロファイラの開発

Development of a high-resolution 1.3 GHz wind profiler radar

山本 真之¹ 川村 誠治² 西村 耕司³

Masayuki K. YAMAMOTO¹ Seiji KAWAMURA¹ Koji NISHIMURA²

1 情報通信研究機構

2 極地研究所

1 Okinawa Electromagnetic Technology Center, National Institute of Information and Communications Technology (NICT)

2 Applied Electromagnetic Research Institute, NICT

3 National Institute of Polar Research

Abstract

Wind profiler radar (WPR) measures height profiles of vertical and horizontal winds in the clear air. WPRs have been used not only for scientific research but also for monitoring wind variations routinely. Recent advances in measurement techniques enable WPR to enhance its capability. Range imaging (RIM), which uses multiple frequencies and adaptive signal processing, enables WPR to resolve small-scale turbulence and wind perturbations by enhancing range resolution. Adaptive clutter suppression (ACS), which uses subarrays and adaptive signal processing for controlling the receive beam pattern, mitigates clutter contamination.

Currently RIM and ACS are used only for scientific research. Aiming at applying RIM and ACS not only to scientific research but also to operational monitoring of wind and turbulence, a high-resolution 1.3 GHz WPR has been developed. As a means for enhancing range resolution, capability of RIM and oversampling (OS) were implemented. For OS and ACS, a unique multi-channel digital receiver was developed. In addition, auxiliary subarrays were installed. The auxiliary subarrays receive echoes from clutters which exist near the ground, and signals collected by the auxiliary subarrays are used for ACS. Multi-instrument measurement is a promising means to elucidate processes in the boundary layer. We hope that the high-resolution 1.3 GHz WPR will be used in future multi-instrument measurements.

1. 開発の背景

ウィンドプロファイラ(WPR)は、晴天域における鉛直風及び水平風の高度プロファイルを計測する。WPRは大気の屈折率擾乱に起因する散乱エコー(大気エコー)を受信する。大気エコーは背景風によるドップラーシフトを持つため、大気エコーのドップラーシフトから風速が計測できる。WPRは、大気力学過程をはじめとする、多くの研究に用いられている^[1]。WPRは、定常的な風速観測の手段としても利用されている。日本では、WINDASと呼ばれるWPRの観測網が、気象庁により運用されている。WINDASによる観測データは、天気予報のもととなる数値予報などに利用されている^[2, 3]。

送信パルス幅で決定される鉛直分解能は、通常100 m～数100 m程度である。そのため、WPRでは、小さい鉛直スケールを持つ大気乱流や風速擾乱を十分に観測できない。WPRの持つ鉛直分解能を向上する手段として、多周波切り替え送信と適応信号処理を用いるレンジイメージング(RIM)の有用性が示されている^[4]。

非所望の散乱体(クラッタ)からのエコーは、WPRによる測定データの品質を低下させる。WPRの持つ観測分解能を十分に引き出すためには、クラッタからのエコーの混入を極力低減することで、風速及び大気乱流の測定精度を確保する必要がある。アダプティブクラッタ抑圧(ACS)は、複数のサブアレイから得た受信信号に対して適応信号処理を行うことで受信アンテナビームパターンを制御し、クラッタの混入を低減する^[5]。

現在、RIMやACSは研究用のWPRにのみ用いられている。RIMやACSを多くのWPRで活用し、風速及び乱気流の高分解能計測を実現することにより、気象状況の詳細な把握・予測や航空機の安全運行に寄与する新たなアプリケーションの創出が期待できる。高分解能かつ高品質の風速及び大気乱流の計測を通じて安心・安全な社会の発展に寄与することを目的に、高分解能1.3GHz帯WPRの開発に取り組んでいる。

2. 高分解能 1.3GHz 帯ウィンドプロファイラ

東京都小金井市の情報通信研究機構に設置された既設の 1.3GHz 帯 WPR(通称 LQ-13)に RIM 及び ACS に必要となる機能を付加することで、高分解能 1.3GHz 帯 WPRを開発している。LQ-13 のアンテナ・送信機などを活用することで、開発に要するコストを削減できる。また、既設の WPR に機能付加を行うことを目的とした技術開発により、多くの既設 WPR に RIM と ACS の機能を付加することが可能となる。

LQ-13 は 13 基のルネベルグレンズで構成されるフェーズドアレイアンテナを有している。LQ-13 は、フェーズドアレイアンテナを用いて鉛直及び東西南北の 5 方向にビームを指向することで、鉛直流及び水平風を計測する。中心周波数は 1357.5 MHz である。LQ-13 は、アンテナの構成を除き、LQ-7 と呼ばれる WPR^[6]と同様の構成を持つ。

ACS に必要となる多チャンネル受信を実現するため、USRP X310^[7]とワークステーションで構成されるデジタル多チャンネル受信機を開発した。また、地表付近に存在するクラッタからのエコーを受信することを目的とした複数の受信専用サブアレイを、LQ-13 のクラッタフェンス近傍に設置した。デジタル多チャンネル受信機を用いて、LQ-13 の主アンテナと受信専用サブアレイからの受信信号を得た。主アンテナと受信専用サブアレイから得た受信信号に対してビーム方向と重み付けベクトルのノルムを拘束した電力最小化法(NC-DCMP)による重み付け合成を行うことで、クラッタからのエコーを抑圧する^[8]。

RIM を実現するため、送信毎に周波数を切替できる局部発振器を設置した。LQ-13 では、デジタル多チャンネル受信機を用いることで、RIM とオーバーサンプリング(OS)を併用した高鉛直分解能計測^[9]を実現している。デジタル多チャンネル受信機は、最高で 10メガサンプル毎秒の OS が可能である。

WPR による風速及び大気乱流の測定精度を確保するためには、クラッタからのエコーの影響を極力排除したうえで、大気エコーのスペクトルパラメータ(エコー強度・ドップラー速度・スペクトル幅)を推定することも重要である。高分解能ウィンドプロファイラにおけるスペクトルパラメータ推定手法の開発にも、注力している。

3. まとめ

高分解能かつ高品質で風速及び大気乱流を計測する、高分解能 1.3GHz 帯 WPR の概要を紹介した。高分解能 1.3GHz 帯 WPR とライダー等の観測機器を用いたマルチセンサ観測は、大気境界層における物質の鉛直輸送や雲の形成メカニズムの解明に有望な手段であると考えている。今

後、マルチセンサ観測の実施も含めた研究開発の発展を目指したい。

謝辞

本研究の一部は、科研費基盤研究 B(課題番号 26281008)及び挑戦的萌芽研究(課題番号 16K12861)による助成を受けた。

参考文献

- [1] S. Fukao, "Recent advances in atmospheric radar study," J. Meteorol. Soc. Jpn., vol. 85B, pp. 215-239, 2007, doi:10.2151/jmsj.85B.215.
- [2] 気象庁, "ウィンドプロファイラ", <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/windpro/kaisetsu.html>, アクセス日:2017年8月2日.
- [3] M. Ishihara, Y. Kato, T. Abo, K. Kobayashi, and Y. Izumikawa, "Characteristics and performance of the operational wind profiler network of the Japan Meteorological Agency," J. Meteorol. Soc. Jpn., vol. 84, no. 6, pp. 1085-1096, 2006, doi:10.2151/jmsj.84.1085.
- [4] M. K. Yamamoto, "New observations by wind profiling radars," in Doppler Radar Observations - Weather Radar, Wind Profiler, Ionospheric Radar, and Other Advanced Applications, J. Bech and J. L. Chau Eds, InTech: Rijeka, Croatia, pp. 247-270, 2012, doi:10.5772/37140.
- [5] K. Nishimura, T. Harada, and T. Sato, "Multistatic radar observation of a fine-scale wind field with a coupling-compensated adaptive array technique," J. Meteorol. Soc. Jpn., vol. 88, no. 3, pp. 409-424, 2010, doi:10.2151/jmsj.2010-309.
- [6] 今井克之・中川貴央・橋口浩之, 電波レンズ搭載型対流圏ウィンドプロファイラレーダー(WPR LQ-7)の開発, SEI テクニカルレビュー, 第 170 号, pp. 49-53, 2007 (<http://www.sei.co.jp/technology/tr/pdf/sei10497.pdf> よりダウンロード可能).
- [7] Ettus Research, "USRPTM X300 and X310 X series" (https://www.ettus.com/content/files/X300_X310_Spec_Sheet.pdf よりダウンロード可能).
- [8] M. K. Yamamoto, S. Kawamura, and K. Nishimura, Facility implementation of adaptive clutter suppression to an existing wind profiler radar: First result, IEICE Commun. Express, in press, doi:10.1587/comex.2017XBL0075.
- [9] M. K. Yamamoto, et al., "Development of a digital receiver for range imaging atmospheric radar," J. Atmos. Sol.-Terr. Phys., vol. 118, pp. 35-44, 2014, doi:10.1016/j.jastp.2013.08.023.