

4-8 400MHz帯ウィンドプロファイラ/RASSの開発

4-8 Development of a 400 MHz-band Wind Profiler Radar with RASS

足立樹泰
ADACHI Tatsuhiko

要旨

通信総合研究所沖縄亜熱帯計測技術センターでは、亜熱帯環境計測技術の研究開発プロジェクトの一環として、平成9年度より400MHz帯ウィンドプロファイラ/RASSの開発を開始し、平成13年3月から沖縄県国頭郡大宜味村に新設した大宜味大気観測施設において運用を開始した。風速鉛直分布は、最低約400 mから最高約16 kmにわたって取得可能であり、平均的には高度13 km付近にわたって3分程度の間隔で連続的に計測を行っている。

一方、RASSによる仮温度の鉛直分布の観測では、高度約3 km付近までの計測に成功している。2001年9月には台風16号(Nari)の中心付近の観測に成功し、今後の気象予報等への応用が期待される。

Okinawa Subtropical Environment Remote-Sensing Center of the Communications Research Laboratory has developed a new 400 MHz-band Wind Profiler Radar (400M-WPR) since FY 1997 in a research and development project of remote-sensors for measuring subtropical environment. After construction of the Ogimi Wind Profiler Facility at Ogimi village in Okinawa, the 400M-WPR has continued wind velocity profiling with an altitude range from approximately 400 m to typically 13 km, and with an interval of a few minutes. We were successful for the wind profiling up to 16 km near the center of a typhoon Nari approached in September 2001. Besides, a RASS attached to the 400M-WPR could obtain virtual temperature profiles up to about 3 km.

【キーワード】

ウィンドプロファイラ, リモートセンシング, 風速, 温度, 対流圏
Wind profiler, Remote-sensing, Wind velocity, Temperature, Troposphere

1 はじめに

沖縄諸島はアジア大陸の東岸に近い西太平洋亜熱帯地域に属し、近海を流れる黒潮の影響で、亜熱帯高圧帯に位置しながら湿潤な気候である。風速場は夏冬でそれぞれ南東風、北西風が卓越し、アジアモンスーンの影響を強く受けるとともに、梅雨、台風といった特徴的な気象現象も見られる地域にある。通信総合研究所(CRL)は1997年より亜熱帯環境計測技術の研究開発プロジェクトにおいて、沖縄亜熱帯地域の大気及び

海洋力学を計測するための3種類の新しいリモートセンサを開発してきた。本論文では、それらの一つである400MHz帯ウィンドプロファイラ(以下、400MHz-WPRと略記する)について論じる。400MHz-WPRは地上設置型のドップラレーダであり、上空の大気乱流や降水粒子を散乱体としてレーダ電波の送受信を行って、散乱体が背景の風速場に流されて動いていると仮定して、風速ベクトルの直交3成分の鉛直分布が求められる。さらに、WPRは音波送信装置を付加してRASS(Radio Acoustic Sounding System)を構成

しており、音波送信装置から送信された音波が上空を伝播する速度をWPRのドップラシフトから計測し、大気中の音速と仮温度との関係式を用いて仮温度の鉛直分布を導出することが可能である。RASS観測において、WPRのドップラ速度から得られる音波の伝播速度は真の音速に背景風速のアンテナビーム方向への射影成分（視線風速）が重畳した見かけの音速であり、真の音速を求めるために視線風速を求めておく必要がある。RASSを用いたWPR（以下、WPR/RASSと略記する。）は、従来の気球、航空機及び衛星搭載型センサと比較してはるかに高い数分の時間分解能を有する点が特徴であり、より小さなスケール（メソスケール）の気象現象の解明に寄与すると期待されている。

2 システム構成

本WPRの諸元を表1に示す。このWPRは送信周波数443MHzのモノスタティック（送受兼用型）ドップラレーダであり、アクティブフェイズドアレイアンテナを採用したことで、電子的にビーム方向を走査することが可能である。送信尖塔電力は20kWで、送信機の最大デューティ比が10%であることから送信平均電力は最大2kWである。アンテナ形状は10.4mの正方形で、アンテナのビーム幅は3.3°となっている。本WPRでは、受信信号の信号対雑音比を改善するため、

Spano et al.[1] が考案した位相変調符号（以下、Spano符号と呼ぶ。）を送受信パルス列に適用するパルス圧縮技術を適用している。送信パルス列を構成する個々の送信パルス（サブパルス）の幅及びサブパルスの個数の組は、1.33 μ s幅4ビット、2.00 μ s幅8ビット、4.00 μ s幅4ビットから選択できる。なお、パルス圧縮にはSpano符号のほか、コンプリメンタリ符号、またパルス圧縮を使わないで1.33 μ s幅の単一パルスも選択可能である。アンテナは直交2方向に沿った2組の24素子リニアアレイで構成されており、それぞれの素子が独立した送受切替えモジュールと接続されているため、アンテナビームは直交する二つの鉛直平面内で電子的に走査可能である。

本WPR/RASSの最大の特徴はRASSによる温度観測の高度範囲を広く改善するためにアンテナビーム方向の方位角を90° 間隔の4方向ではなく、連続的に全方位角へ向けられるようにした点にある。送受信兼用のWPRによるRASS観測においては、送信電波の波数ベクトルが送信音波の波数ベクトルの1/2となるブラッグ条件が満たされる必要がある。すなわち、観測対象領域において送信電波のアンテナビームと音波面が直交しなければならないが、音波面の形状は背景の風速プロファイルの影響を受けるため、ブラッグ条件を満たす空間は必ずしも天頂方向ではなく、おおむね風上方向に限定される。したがって、背景の風速や温度場を元に音波の伝搬通路をあらかじめ数値計算し、ブラッグ条件を満たす空間領域を予測して、その方向へアンテナビームを走査することで観測高度範囲を拡大する方法を取っている。この観測法はMUレーダ-RASSにおいて基本的に実現されたが、本WPRでは更に自動制御へ向けた改良を行った。このRASS観測法を実現するために、本WPRは、アンテナ面全体を回転台に設置し、水平回転させることで全方位角方向へのビーム走査を可能としている。全方位角方向へ電子的にアンテナビーム走査を行う完全な2次元アレイアンテナがRASS観測において理想的ではあるが、直交格子配列のアンテナを回転させる方法は建設コストを勘案した良い妥協策であると考えられる。

本ウィンドプロファイラは、次節で述べるとおり、当所の研究施設から離れた観測施設に設

表1 通信総合研究所400MHz帯ウィンドプロファイラの諸元

レーダ形式	モノスタティック パルスドップラレーダ
送信周波数	443 MHz
送信電力	20 kW (ピーク), 2 kW (平均)
アンテナ形式	電磁結合型同軸リニアアレイ (24 素子 × 直交 2 列)
アンテナ外形	幅 10.4 m, 奥行 10.4 m, 高さ 1.2 m
アンテナビーム半値幅	3.3°
アンテナビーム走査範囲	方位角 0°~360° (電子・機械走査) 天頂角 0°~15° (電子走査)
レンジ分解能	200 m~600 m で可変
観測高度範囲	風速 350 m~16 km 温度 350 m~6 km

置されているため、専任のオペレータを必要としない洗練されたレーダ制御及びデータ取得ソフトウェアを開発する必要がある。とりわけRASS観測において、オンライン処理で得られた風速、温度プロファイルを利用して、音波発射装置から送信される音波の伝搬経路をレイトレイシングの手法で推定し、適切な観測パラメータを算出し自動観測を行うソフトウェアは本システムの最大の特徴である。また、World Wide Web (WWW) インタフェイスを用いた制御や観測結果のクイックルック表示もまた遠隔地の観測施設を考慮した方式となっている。

3 初期観測結果

(1) 大宜味大気観測施設

通信総合研究所では各種大気観測装置を用いる拠点として、沖縄本島北部に図1に示す大宜味大気観測施設(東経 $128^{\circ}09'32''$ 、北緯 $26^{\circ}40'41''$ 、海拔225m)を建設した。大宜味大気観測施設には、400MHz帯ウィンドプロファイラのほか、1.3GHz帯ウィンドプロファイラ、ドップラソダ、GPSラジオゾンデ、超音波風速計、光学式雨量計、雨滴粒径計測装置及び地表付近の気圧、風速ベクトル、温度、相対湿度、太陽放射、雨量を計測する地上気象観測システムが設置されている。観測棟には最大72時間にわたる連続運

転を行う発電装置があり、台風接近時などに頻繁に停電が発生しても観測を継続することができる。各観測装置で取得されたデータはサーバ計算機へ集積され、通信総合研究所沖縄亜熱帯計測技術センターを経由して、通信総合研究所本所のデータアーカイブ装置へと転送される。

(2) 2000年台風16号(Nari)の風速プロファイル

次に、2001年9月7日から8日にかけて沖縄本島に接近した台風16号(Nari)の観測結果について述べる。台風の進路は図2に示すように大宜味大気観測施設の南西からかなりゆっくりと接近し、9月7日18時に観測地から40km南側で最接近し、その後西向きへ移動して遠ざかった。本WPRがその期間に行った風速プロファイルの連続観測結果を図3に示す。風速プロファイルの観

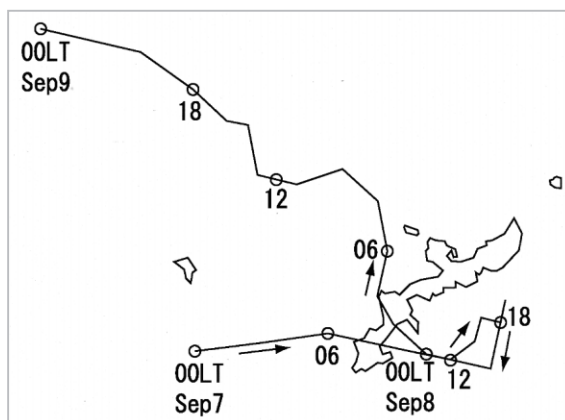


図2 2001年台風16号(Nari)の進路



図1 大宜味大気観測施設の概観(東経 $128^{\circ}09'32''$ 、北緯 $26^{\circ}40'41''$ 、海拔225m)

観測棟の正面の正方アンテナが400MHz帯ウィンドプロファイラである。観測棟屋上には、GPSラジオゾンデの受信アンテナ、光学式雨量計、雨滴粒径計測装置、超音波風速計が設置されている。観測棟の左側にはドップラソダ、右側には地上気象観測システムと1.3GHz帯ウィンドプロファイラがそれぞれ設置されている。

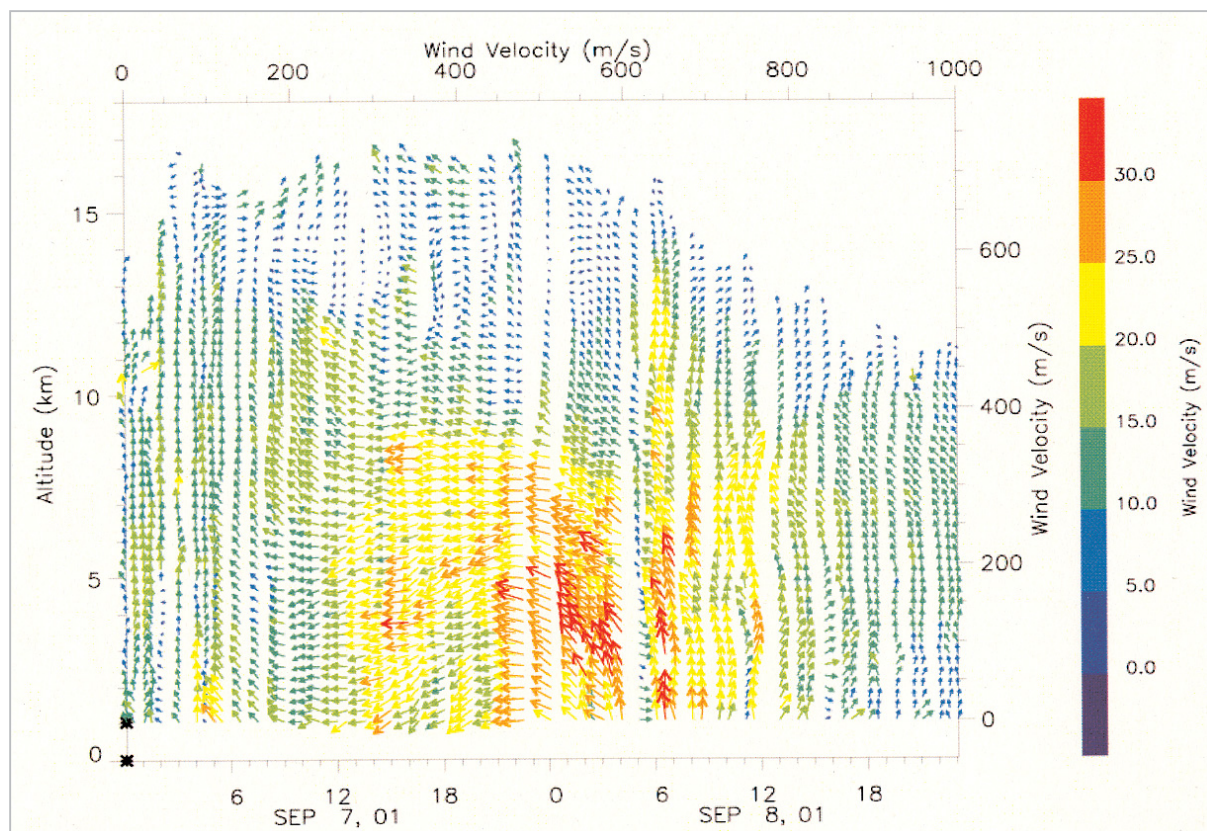


図3 400MHz帯ウィンドプロファイラによる水平風速ベクトルの30分平均値の時間高度分布

観測期間は2001年9月7日から8日で台風16号(Nari)の接近時に当たる。

測最高高度は、台風が近づくにつれて上昇し、台風を中心付近において16km以上に達した後下降に転じた。この原因は、台風を中心付近の高い積乱雲に含まれる降水粒子による電波散乱が支配的であったためであると考えられる。実際、鉛直下降向きのドップラ速度がこの間に検出されている。このWPRによる観測最高高度は通常おおむね13km付近であり、レーダ方程式を用いた見積りと比較して低い結果となっているので、レーダ装置の動作状況をなお検証中である。

(3) RASS観測

RASSによる初期観測結果を図4に示す。RASSエコーはドップラ速度347m/sから340m/sの範囲にあり、高度が増加するにつれて温度が減少するために、見かけの音速も減少する高度分布となっている。RASSエコーの最高観測高度は、天頂角15°の南向きビームと西向きビームではそれぞれ2.7km及び1.6kmと大きく異なり、RASS観測による観測高度範囲がアンテナビーム

方向に対して非常に敏感であることを示している。

図5は、10分間のRASS観測から得られた仮温度の高度プロファイルである。温度変動はおよそ1Kの範囲に収まっている。

4 まとめ

通信総合研究所沖縄亜熱帯計測技術センターでは、400MHz帯ウィンドプロファイラ/RASSを開発し、沖縄本島内の大宜味大気観測施設に設置した。このレーダアンテナは直交格子型のリニアアレイアンテナを回転架台上に設置されており、全方位角方向へのアンテナビーム走査を可能とすることで、RASSの観測高度範囲を改善する工夫を行った。風速プロファイルの観測では、2000年台風16号(Nari)の中心付近において最大16km以上を達成した。

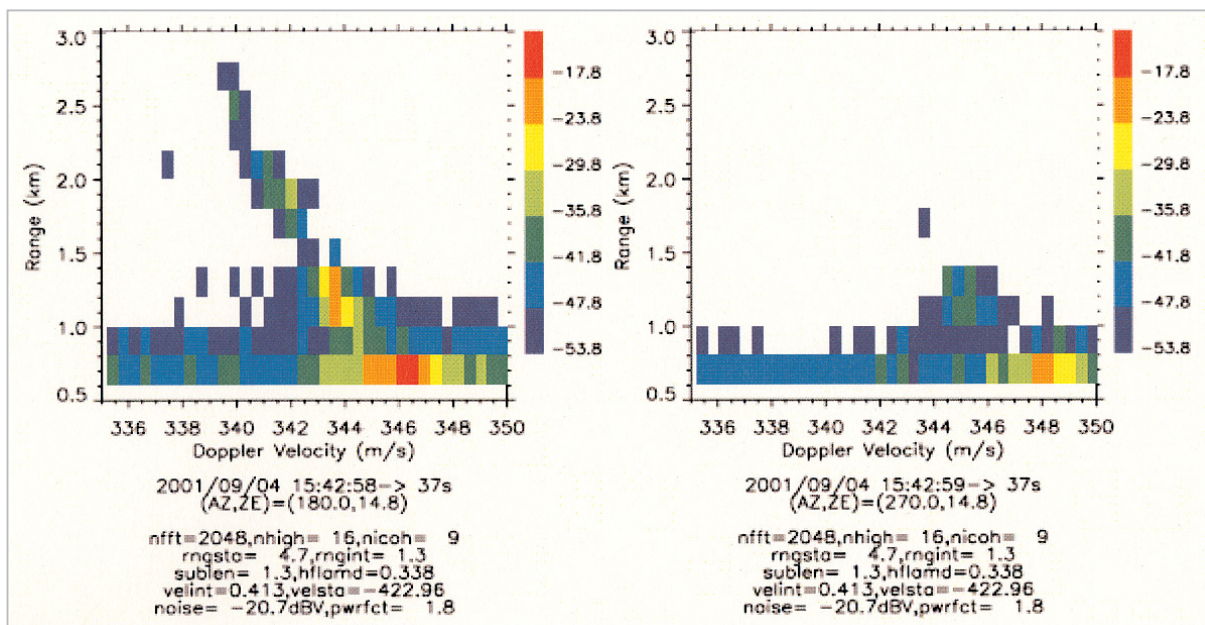


図4 RASS観測で取得したドップラスpekトルの距離速度断面図

濃淡は受信信号強度を示す。レーダビーム方向は、(方位角, 天頂角)=(180°, 14.8°)(左)、(270°, 14.8°)(右)。

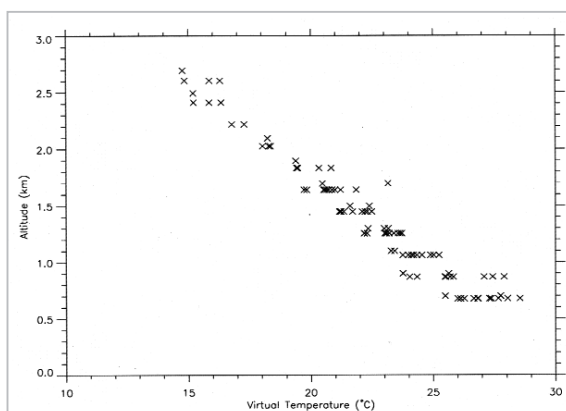


図5 10分間のRASS観測から得られた仮温度の高度分布

参考文献

- Spano et al, "Sequences of complementary codes for the optimum decoding of truncated ranges and high sidelobe suppression factors for ST/MST radar systems", IEEE Geosci. Remote. Sens., 34, pp. 330-345, 1996.



あだち たいひろ
足立樹泰

電磁波計測部門亜熱帯環境計測グループ
主任研究員 博士(工学)
レーダリモートセンシング
adachi@crl.go.jp