

TECHNICAL REPORTS OF THE METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE No.35

**Studies on wind profiler techniques for  
the measurements of winds**

BY

**Meteorological Satellite and Observation System Research Department**

気象研究所技術報告

第 35 号

ウインドプロファイラーによる気象の観測法の研究

気象衛星・観測システム研究部

気 象 研 究 所

METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE, JAPAN

DECEMBER 1995

# Meteorological Research Institute

Established in 1946

Director-General : Dr. Yonejiro Yamagishi

Forecast Research Department	Director : Mr. Harushige Koga
Climate Research Department	Director : Mr. Hikomaro Muraki
Typhoon Research Department	Director : Mr. Shin Ohtsuka
Physical Meteorology Research Department	Director : Mr. Takenori Noumi
Applied Meteorology Research Department	Director : Dr. Tatsuo Hanafusa
Meteorological Satellite and Observation System Research Department	Director : Mr. Toyoaki Tanaka
Seismology and Volcanology Research Department	Director : Mr. Eiji Mochizuki
Oceanographical Research Department	Director : Mr. Kenzo Shuto
Geochemical Research Department	Director : Dr. Katsuhiko Fushimi

1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan

## Technical Reports of the Meteorological Research Institute

Editor-in-chief : Harushige Koga

Editors: Masakatsu Kato      Akihiro Uchiyama      Kenji Akaeda  
         Hakaru Mizuno        Izuru Takayabu        Michio Hirota  
         Kenji Kanjo            Masafumi Kamachi     Hidekazu Matsueda  
Managing Editors: Shigeki Matsubayashi, Hisato Nishii

The *Technical Reports of the Meteorological Research Institute* has been issued at irregular intervals by the Meteorological Research Institute since 1978 as a medium for the publication of survey articles, technical reports, data reports and review articles on meteorology, oceanography, seismology and related geosciences, contributed by the members of the Meteorological Research Institute.

The Editing Committee reserves the right of decision on acceptability of manuscripts and is responsible for the final editing.

---

©1995 by the Meteorological Research Institute.

The copyright of articles in this journal belongs to the Meteorological Research Institute (MRI). Permission is granted to use figures, tables and short quotes from articles in this journal, provided that the source is acknowledged. Republication, reproduction, translation, and other uses of any extent of articles in this journal, that are not for personal use in research, study, or teaching, require permission from the MRI.



気象研究所ウィンドプロファイラーの写真

## 序

風向・風速の鉛直分布が地上から発射する電波によって測定できる装置、ウィンドプロファイラーが、1988年気象研究所に整備された。使用周波数404.37MHz、波長約75cm。測定範囲、高度500mから16km程度、すなわち対流圏から成層圏下部までを、高い高度分解能で観測できる。設置当初から仕様通りに運用できれば、これほど便利な装置はない。しかし施設が大がかりになればなるほど運用はそれほど簡単ではない。このウィンドプロファイラーも例外ではなかった。

設置当初、ウィンドプロファイラーにはなお未知な部分が多く、気象衛星・観測システム研究部第4研究室の当時の上田真也研究室長及び永井智広研究官の取り組みには並々ならぬものがあった。本体の整備はもとより、アメリカの設計・製作者との討議、日本の輸入業者との折衝等枚挙に暇がない。正常な運用に向けての不断の努力はその後、坂井武久前室長に引き継がれ、現在では気象研究所の、そして第4研究室の有力な観測施設となっている。

整備後の試験運用ではウィンドプロファイラーのアンテナ等ハード面での改良、観測データ処理手法の開発など、プロファイラー測定システム全般についての研究が行われてきた。特に研究に使用するための観測データは品質管理が充分になされていることが重要であり、こうした地道な研究を通じて、新しい手法を開発し、着実に成果を挙げてきた。ウィンドプロファイラーの原理・機能等は本文に詳しいが、基本は大気中に電波を発射して戻ってきたエコーのドップラーシフトから風向風速を測定する装置であり、従来のゾンデによる方法とは根本的に異なっている。ウィンドプロファイラーによる観測データの特性を検討するために、測定原理が異なるゾンデとの比較観測も数多く実施されてきた。また、得られたデータから前線の構造や降水粒子の粒径分布の解析等幅広い研究が行われている。さらに1994年からはウィンドプロファイラーを気象業務に用いる場合の問題点を検討するため、気象庁観測部、予報部及び高層气象台と共に業務実験を開始し、3機関の共同で実験が進められている。

本報告は、ウィンドプロファイラーの測定原理、構成、観測方法が詳述されており、気象庁の将来の観測方法及び予報への利用に対して大きな貢献が期待される。序文を終えるにあたり、この施設導入に御尽力いただいた関係者の皆様に心から感謝したい。

平成7(1995)年7月7日

気象衛星・観測システム研究部長 田中 豊 顕

Studies on wind profiler techniques for  
the measurements of winds

by

Meteorological Satellite and Observation System Research Department

ウインドプロファイラーによる気象の観測法の研究

気象衛星・観測システム研究部

# 目 次

序

概要 (和文) .....	1
Abstract (英文) .....	3
第1章 はじめに .....	5
第2章 ウィンドプロファイラーの原理 .....	8
2.1 レーダー方程式 .....	8
2.2 大気の流れとブラッグ散乱 .....	10
2.3 大気の流れと屈折率の変動 .....	16
2.4 構造パラメータ .....	20
2.5 分反射 .....	22
2.6 ドップラーシフト .....	23
第3章 ウィンドプロファイラーの構成 .....	25
3.1 機能概要 .....	25
3.2 受信装置 .....	26
3.3 送信装置 .....	28
3.4 アンテナシステム .....	29
3.5 プロセッサー .....	31
3.6 データ処理装置 .....	32
第4章 ウィンドプロファイラーの観測方法 .....	35
4.1 概要 .....	35
4.2 距離分解能 .....	36
4.3 観測可能な最低及び最高高度 .....	37
4.4 I, Q 信号 .....	38
4.5 時間積分 .....	40
4.6 ウィンドウ .....	41

4.7	ドップラースペクトル .....	44
4.8	観測可能最低及び最高風速 .....	45
4.9	ノイズ除去 .....	46
4.10	グランドクラッター除去 .....	49
4.11	モーメントの計算 .....	50
4.12	風向風速の東西，南北成分の算出 .....	52
4.13	出力 .....	53
4.14	品質管理 .....	54
第5章	ウィンドプロファイラーによる観測結果 .....	61
5.1	観測データの取得率 .....	61
5.2	高高度モードと低高度モードの比較 .....	67
5.3	ゾンデとの比較 .....	70
5.4	ドップラーレーダとの比較 .....	72
5.5	つくばでの観測事例 .....	74
	(1) 前線の観測 .....	74
	(2) 台風の観測 .....	75
	(3) 降雨雨滴粒径分布の観測 .....	75
第6章	まとめ .....	81
謝辞	.....	81
参考文献	.....	83

# 概 要

近年の気象観測手法の発展は目ざましく、多くの気象要素がリモートセンシング手法により測定できるようになってきた。高層風についても UHF 帯や VHF 帯の電波を用いて高度分布を高頻度で測定できるウィンドプロファイラーという測器が開発され、この10年で大きな進歩を遂げてきた。気象研究所においても、ウィンドプロファイラーが1988年に整備され、気象研究所気象衛星・観測システム研究部を中心にハード面、データ処理のソフト面の開発・研究そして気象の観測研究が行われてきた。

このウィンドプロファイラーは、低層から高層までの風の鉛直分布を優れた高度分解能及び時間分解能で容易に観測できる。1日に2回程度しか実施されていないゾンデ観測と比べて多くのデータの取得が可能である。しかし、現在日本ではこの種の測器は開発あるいは研究用にごくわずかに運用されているのみで、まだウィンドプロファイラーについてもあまり知られていない。

本技術報告では、ウィンドプロファイラーの原理を解説すると共に気象研究所ウィンドプロファイラーのシステム構成、データ処理方法および観測結果について述べる。データ処理法に関しては、ウィンドプロファイラー特有の問題があり、気象研究所でも様々な点から検討を行ってきた。

第1章では、晴天大気を対象とするレーダーの簡単なレビューを述べる。ウィンドプロファイラーは、大気中の乱流等による大気屈折率の変動部分から散乱される電波を受信するもので、晴天大気を対象とするレーダーの1種である。晴天大気レーダーは、中層大気など超高層大気の観測手法として発展してきた。そして対象が成層圏、対流圏と下層大気に拡大され、対流圏から成層圏を対象とする今日のウィンドプロファイラー、下部対流圏を対象とする境界層レーダーが開発されてきた。米国ではすでにウィンドプロファイラーのネットワークが構築されている様に気象予測の面でも重要な観測機器に成ってきている。

第2章ではウィンドプロファイラーの原理を述べる。ウィンドプロファイラーは、通常の気象ドップラーレーダーと基本的には同様な原理であるが、より長い波長の電波を用いて晴天大気を対象とすることが大きく異なる。気象レーダーが対象としている降雨による散乱は、レーリー散乱の理論で扱うが、ウィンドプロファイラーではブラッグ散乱の理論が必要となる。比較的なじみが薄いと考えられるためマックスウェルの方程式を基にしてやや詳しく述べた。

第3章では気象研究所ウィンドプロファイラーの構成、送受信器、アンテナ、データ処理装置等を述べる。気象レーダーと類似な点も多いがデータ処理過程や観測データの出力方法が異なっている。

第4章ではウィンドプロファイラーの観測方法、データ処理アルゴリズムを述べる。観測可能な高度や最高風速そして風速分解能、ドップラーシフト算出法など通常の気象レーダーと共通す



る事柄についても述べると共にウインドプロファイラーに特徴的なアルゴリズムも解説する。ウインドプロファイラーは、晴天大気からの非常に微弱な信号を扱うため、データ処理で様々な工夫が施されている。S/Nを改善し、ドップラーピークを抽出し易くするためのドップラー信号時系列およびドップラースペクトルの周波数領域での平均化処理法、またグランドクラッターの除去方法、不良データを取り除くための品質管理方法について具体的に記述する。

第5章ではウインドプロファイラーの観測結果を述べる。不良データにより時間平均値が欠測となる状況を季節や高度毎に調べた結果や、鉛直分解能の違いによる観測結果の差、ゾンデとの比較結果などが記してあり、ウインドプロファイラーのデータを扱う場合にも参考になると考える。つくばでの観測事例として台風が近くを通過した時の風向風速の鉛直構造や前線通過時の風の高度分布の観測結果を記してある。また、風観測以外の応用例として雨滴粒径分布を観測した例及びその方法を記述してある。この方法を用いれば雨滴の大きさの高度分布を推定できる。

## ABSTRACT

In 1988, the Meteorological Research Institute (MRI) built a UHF (404.37MHz) wind profiler, which is a Doppler radar used to measure the winds in a clear and rainy atmosphere, at Tsukuba. Since then, the MRI has operated the wind profiler to examine its potential for measuring tropospheric and lower stratospheric winds and to study the wind field in the lower atmosphere.

The present report describes this wind profiler, including its principle, hardware system, data processing and the results of observations at Tsukuba.

In Chapter 1, a brief review of the wind profiler is presented. It observes the echo reflected from clear air turbulence and therefore is referred to as a clear-air radar. Early clear-air radar focused on upper atmosphere research. In the 1970's, the clear-air radar for the lower atmosphere was developed and examined from various points of view. Although, more effort is still necessary to improve the measured data, the wind profiler is now proved to be an important instrument for atmospheric researches, weather forecasting, etc.

In Chapter 2, the principle of wind profiler measurement is presented. Although the wind profiler is a fundamentally similar instrument to the conventional weather radar, the scattering process in the atmosphere of the transmitted signals is completely different from that of the weather radar : the weather radar uses reflection from rain drops but the wind profiler detects a weak signal from refractive index irregularities which is handled with the theory of Bragg reflection. The theoretical aspects of Bragg reflection are explained in detail.

In Chapter 3, the design of the wind profiler system in the MRI is described. The transmitter, receiver, antenna system and the data processing system are presented.

In Chapter 4, methods of processing the wind profiler signals are described. Besides what is common with the weather radar, the characteristic techniques of the wind profiler to handle very weak signals reflected from the atmosphere are presented.

The time sequential data of the received signals are first averaged over a time domain to reduce noise and then converted into a frequency spectrum using the Discrete Fourier Transform technique. After removing the DC component and windowing, the spectra are gathered. The ground clutter is then removed. Finally the Doppler (radial) velocity is obtained from the averaged spectrum by the moment method. The radial velocity measurements are made along three beams and are combined to calculate the horizontal wind

velocity.

Hourly averaged winds are produced by the wind profiler using a quality control algorithm. This method is also described.

In Chapter 5, the results of the observational study carried at the MRI are presented. Specific features of the wind profiler measurements are described. The vertical profile of wind when cold front and typhoon pass near the MRI are measured. A method to retrieve the size distribution of rain drops from the observed Doppler spectrum and the result of retrieval are presented.