

気象庁におけるウィンドプロファイラ観測業務

加 藤 美 雄*・阿 保 敏 広**・小 林 健 二*
泉 川 安 志*・石 原 正 仁***

1. はじめに

気象庁は全国にウィンドプロファイラを展開し、2001年4月から高層風の定常観測を開始した。この観測網は「局地的気象監視システム」：略称ウィンドス WINDAS (Wind Profiler Network and Data Acquisition System) と名付けられ、当初25台のウィンドプロファイラによって運用を開始し、2003年3～6月には31台に増強された。ここでは WINDAS の設置目的、システム構成、観測データの性質や品質管理、さらに観測データを利用する上での注意点などを解説する。

2. 導入の目的と設置まで

気象庁は中期的重要課題のひとつに「局地的豪雨等のメソ気象現象の的確な予報」を掲げている(気象庁, 2000)。このため、局地的豪雨・豪雪をもたらす水平スケールが数十 km から数百 km、寿命が数時間のメソスケール現象が、いつ、どこで、どの程度の強さで発生するかをよりの確に予測し、精度の高い防災情報を発表することを目指して、数値予報モデルの改良とともに観測網の充実を図っている。

世界各国では、世界気象機構(WMO)が定めた世界気象監視計画(WWW)の全球観測システム(GOS)として、ラジオゾンデによる高層気象観測を行っており、その数は全世界で約900地点にのぼる。気象庁では、国内18地点と4隻の海洋気象観測船でラジオゾンデ観測を行っている。遠隔地である父島と南鳥島を除くと、国内における高層観測の地点間距離は平均で約350

km である。

1959年に運用が始まった気象庁の数値予報モデルは数々の変遷を経た後、2001年には水平格子間隔10 km、鉛直40層のメソ数値予報モデル(MSM)までに発展した(数値予報課, 2000)。こうした数値予報モデルを効果的に運用するには、空間・時間分解能の高い高層観測データが必要となっている。しかし、ラジオゾンデ観測点を増やすことは容易ではない。このため、地上気象観測、気象レーダー、気象衛星、民間航空機などによる既存の観測データを数値予報モデルに取り入れる努力を続けてきたが、MSMの運用を開始するにあたって新しい高層気象観測網の整備を検討することになった。

気象庁は MSM の試験運用の開始と前後して、既存の観測網に加えてどのような観測システムを新たに採用すべきかの検討に入った(数値予報課, 1998)。また、気象研究所の400 MHz ウィンドプロファイラ(気象衛星・観測システム研究部, 1995)を使用して、ウィンドプロファイラの観測データを現業で利用することを想定した業務実験を行った(高層気象台・観測部・予報部, 1998)。さらに、各種の新しい観測システムのデータが数値予報に与える効果を調査し、豪雨をもたらす湿潤大気の流れの動向を常時監視することができるウィンドプロファイラを観測網として整備する計画が立てられた(気象庁, 1999)。こうした準備をもとにして、2000年には必要な予算が成立し、翌2001年4月に WINDAS が完成した(石原, 2001)。

3. ウィンドプロファイラ

電波を利用して上空の風の鉛直分布を測定するウィンドプロファイラ(wind profiler)とは、上空の風(wind)のプロファイル(profile: 横顔, 輪郭, 側面図)を測定する機器を意味している。ウィンドプロファイ

* 気象庁観測部観測課高層気象観測室。

** 同部管理課南極観測事務局。

*** 観測課。

—2003年9月10日受領—

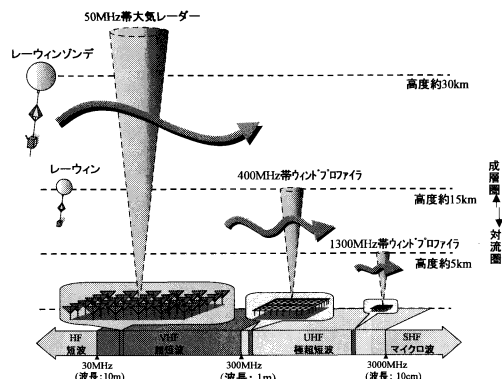
—2003年11月10日受理—

ラはドップラーレーダーの一種であるが、ドップラー気象レーダーが雨滴や雪片などの降水粒子を媒体として風を測定するのにに対し、ウィンドプロファイラは降水の有無によらず風を測定できるという大きな特徴を有している。

ウィンドプロファイラは成層圏・中間圏などの超高層大気を対象に風や乱流などを測定する「大気レーダー」(Woodman and Guillen, 1974) に由来している。京都大学宙空電波科学研究センターのMUレーダーは、代表的な大気レーダーである(深尾, 1989)。こうしたレーダーは対流圏も観測領域とすることから気象関係者の注目するところとなり、主に対流圏の風を測定する大気レーダーを「ウィンドプロファイラ」と呼ぶようになった。1990年代に入ると気象業務での利用が検討されるようになり、米国海洋大気庁(NOAA)は1990年初頭に30数台のウィンドプロファイラを米国中西部に展開した(NOAA, 1994; 迫田, 1997)。ヨーロッパ諸国でも各国のウィンドプロファイラのデータを統合して予報業務に利用する実験が進行中である(EC, 2001)。

ウィンドプロファイラは、空気の屈折率のゆらぎ(空間変動)によって生じる電波の散乱を受信することによって、上空の風を測定する。大気中に電波の波長の1/2の空間スケールをもつ乱流が存在しそれによって屈折率のゆらぎが生じると、ブラッグ散乱によりごく微弱ではあるが電波が戻ってくる(加藤ほか, 1982)。サイズの小さい乱流は対流圏下層には豊富に存在するが、高度が増すに連れて急激に減少する。したがって、高い高度の風を観測するためには、波長の長い電波を使う必要がある。また、空気屈折率の鉛直勾配が大きいほど電波は多く散乱される。空気屈折率は気温・気圧・水蒸気量の関数であるが、対流圏では空気屈折率の鉛直勾配はほぼ水蒸気量の鉛直勾配によって決定される(Tsuda *et al.*, 2001)。水蒸気の鉛直勾配は一般に対流圏下層で大きく上層では小さい。これらのことから、波長の短い電波ほど上層の風の測定は難しくなる。

大気レーダー及びウィンドプロファイラは50 MHz帯(46-68 MHz)、400 MHz帯(440-450, 470-494 MHz)、1.3 GHz帯(1270-1295, 1300-1375 MHz、ただし北米ではさらに904-928 MHz)の3つの周波数帯を使用することが国際的に決められている。第1図のように波長の長い50 MHz帯大気レーダーでは観測領域は対流圏から中間圏・熱圏に及ぶが、波長の短い



第1図 周波数別に見た大気レーダーとウィンドプロファイラの観測高度の比較。

1.3 GHz帯ウィンドプロファイラの観測は、対流圏中層〜下層に限定される(Hashiguchi, *et al.*, 1995)。ただし、長い波長を使うと大型のアンテナや多くの電力を必要とすることから、建設や運営にコストがかかる。400 MHz帯ウィンドプロファイラは対流圏のほぼ全層を観測領域とし気象観測には最適であるが、国内では同一周波数帯に既存の無線局が存在することを考慮すると、この周波数帯のウィンドプロファイラを各地に設置することは困難である。こうした諸条件を考慮するとともに、技術の進歩により1.3 GHz帯ウィンドプロファイラでも条件が良いときには対流圏中層までの観測が可能となったことから(橋口, 1999)、気象庁は1.3 GHz帯ウィンドプロファイラを採用することを決めた。

ウィンドプロファイラによって高層風を観測することの長所は、高い時間分解能で観測が可能であること、自動観測が可能であること、飛揚地点真上の高層風が測定できること(ラジオゾンデの場合、風に乗ってラジオゾンデが流されるから、必ずしも観測点真上の観測をしているとはいえない。)などである。一方、短所としては、大気の成層状態などによって観測到達高度が変動すること、大気や降水粒子以外の物体によって散乱された電波により誤データが発生し、それらを品質管理によって取り除くためにデータの一部分が欠落することがあること、さらに品質管理で除去されずに残った誤データが正常データとして出力されることがあることなどがあげられる。

4. 測風の原理

大気中の乱流は風によって移流する。このときドッ

ブラー効果によって生じる送信と受信の周波数差を測定すれば、乱流を流している風を推定することができる。なお、50 MHz 大気レーダーなどでは、この方式とは異なり、散乱信号が地上付近に作る干渉パターン of 空間的な相関から風を測定する方式 (spaced antenna drift 法) を使用することもある (Röttger and Vincent, 1978)。

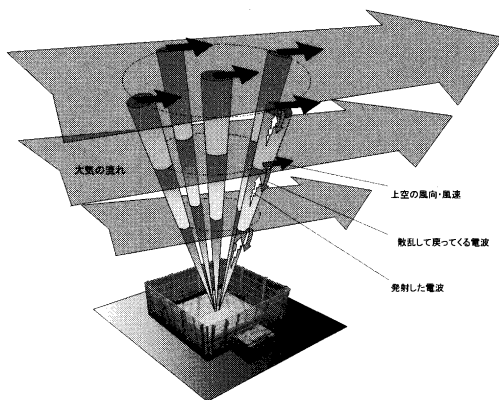
第2図のように、WINDAS のウィンドプロファイラでは地面近くに水平に設置したアンテナから、天頂及び天頂から10度傾けた東西南北4方向にビームを順次発射し、各高度で散乱され戻ってきた電波を同じアンテナで受信し、電波の強さと周波数の偏移 (ドップラー周波数) を測定する。

電波の波長を λ とするとき、乱流の移動速度 V とドップラー周波数 f との間には、 $V = -\lambda f / 2$ の関係がある。ただし、この V は風ベクトルのビーム方向 (視線方向) の成分 (風ベクトルをビーム方向に投影したときのベクトルの成分) である。東西南北、鉛直の5方向のビームから得られる5つのドップラー速度をそれぞれ V_E, V_W, V_S, V_N, V_Z 、散乱体の移動ベクトルの東西・南北・鉛直の各成分をそれぞれ u, v, w とし、4つのビームは天頂から θ の角だけ傾いているとき、(1) の各式が成り立つ。

$$\left. \begin{aligned} V_E &= w \cos \theta + u \sin \theta \\ V_W &= w \cos \theta - u \sin \theta \\ V_N &= w \cos \theta + v \sin \theta \\ V_S &= w \cos \theta - v \sin \theta \\ V_Z &= w \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{V_E - V_W}{2 \sin \theta} \\ v &= \frac{V_N - V_S}{2 \sin \theta} \\ w &= V_Z \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

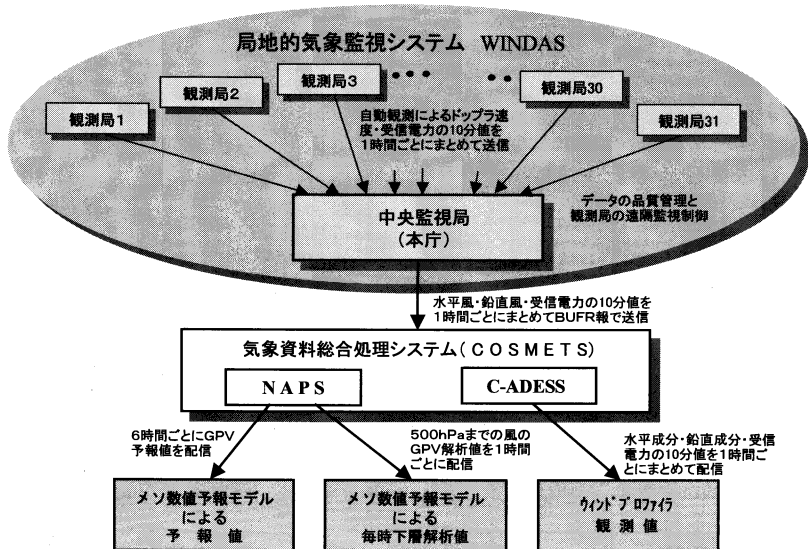
このとき、(2) の3つ式から u, v, w を求める方式を5ビーム法と称し、WINDASでは通常この方式を用いている。また、何らかの原因で5つのうちのひとつ、例えば V_E が測定できなかった場合には、(1) 式の V_W, V_N (又は V_S)、 V_Z の式から u, v, w を求める3ビーム法を使用する。



第2図 ウィンドプロファイラによる高層風測定 の概念図。

(1) 式右辺の $w \cos \theta$ は、 $u \sin \theta, v \sin \theta$ と同じオーダーとなることが多い。またゼロ m/s 付近の値を示す w は、特に大気下層では地形エコーの影響を受け誤差をともなうことがある。5ビーム法を使えば w の誤差を u, v に反映させずに済む。一般的に3ビーム法は5ビーム法にくらべ風の測定精度が低いことが多い。

このようにして求めた u, v, w のうち w は、電波の散乱体が大気であるときには大気鉛直速度 (上昇流・下降流の大きさ) である。1.3 GHz の電波は大気より降水粒子によってより多く散乱されるから、上空に降水があるときには w は降水粒子の鉛直速度、すな



第3図 WINDAS のシステム構成と観測データの流れの概要。

わちその終端落下速度と大気鉛直速度の和であることに注意する必要がある。

5. 観測システムの概要

5.1 システム構成

第3図に示すように、WINDASは全国31地点の「観測局」と、東京の気象庁ビル内の「中央監視局」から構成され、両者は気象庁の専用回線網L-ADESSまたは公衆デジタル回線で結ばれている。

第1表は31の観測局の所在地である。各観測局は中央監視局からの遠隔制御により自動運転されている。観測局は、降雨災害が多発する地域、人口の集中度が高い地域、暖湿流の動向を監視しやすい太平洋沿岸などにやや重みをつけ、さらに急峻な山の近くや谷間などではできるだけ避けるよう配置されている。25局は気象官署構内に、6局は国・県・町の敷地に設置されている。北海道から九州までの4島における高層風の観測地点間隔は、ラジオゾンデとWINDASを合わせた観測網では平均112 km、またWINDASのみでは133 kmである。各観測局は10分ごとに高層風を測定し、それらを1時間毎に中央監視局に送ってくる。高度方向の分解能は通常300 mである。このように、WINDASの登場によって、ラジオゾンデ観測では得られなかった高い時間・空間分解能をもつ高層風データが提供されることとなった。

第1表 WINDASの観測局（ウィンドプロファイラ）設置地点の一覧。

地点番号	観測局	住所	緯度	経度	標高(m)	運用開始
47406	留萌	北海道留萌市	43.95	141.63	23	2001.4
47417	帯広	北海道帯広市	42.92	143.21	38	2001.4
47423	室蘭	北海道室蘭市	42.32	140.97	3	2001.4
47585	宮古	岩手県宮古市	39.65	141.96	43	2001.4
47587	酒田	山形県酒田市	38.91	139.84	3	2001.4
47612	高田	新潟県上越市	37.11	138.25	13	2001.4
47616	福井	福井県福井市	36.06	136.22	9	2001.4
47626	熊谷	埼玉県熊谷市	36.15	139.38	30	2001.4
47629	水戸	茨城県水戸市	36.38	140.47	29	2001.4
47636	名古屋	愛知県名古屋市	35.17	136.96	51	2001.4
47640	河口湖	山梨県南都留郡河口湖町	35.5	138.76	860	2001.4
47656	静岡	静岡県静岡市	34.98	138.4	14	2001.4
47663	尾鷲	三重県尾鷲市	34.07	136.19	15	2001.4
47674	勝浦	千葉県勝浦市	35.15	140.31	12	2001.4
47678	八丈島	東京都八丈島八丈町	33.12	139.78	152	2003.6
47746	鳥取	鳥取県鳥取市	35.53	134.2	6	2003.3
47755	浜田	島根県浜田市	34.9	132.07	20	2001.4
47795	和歌山／ 美浜(みはま)	和歌山県日高郡美浜町	33.89	135.13	3	2003.6
47800	巖手	長崎県下県郡巖手町	34.15	129.22	130	2001.4
47805	平戸	長崎県平戸市	33.36	129.55	58	2001.4
47815	大分	大分県大分市	33.24	131.62	5	2001.4
47819	熊本	熊本県熊本市	32.81	130.71	38	2001.4
47822	延岡	宮崎県延岡市	32.58	131.66	19	2001.4
47836	屋久島	鹿児島県熊毛郡上屋久町	30.38	130.66	36	2001.4
47848	鹿児島／ 市来(いちき)	鹿児島県日置郡市来町	31.71	130.32	25	2003.3
47891	高松	香川県高松市	34.32	134.05	9	2001.4
47893	高知	高知県高知市	33.57	133.55	3	2001.4
47898	清水	高知県土佐清水市	32.72	133.01	31	2001.4
47909	名瀬	鹿児島県名瀬市	28.38	129.5	3	2003.3
47912	与那国島	沖縄県八重山郡与那国町	24.47	123.01	30	2001.4
47945	南大東島	沖縄県島尻郡南大東村	25.83	131.23	16	2003.3

5.2 機器の構成

第2表はWINDASの主要諸元である。第4図は31のウィンドプロファイラの配置を、第5図にはWINDASの機器構成を示す。第6図は観測局、中央監視局

及び空中線（アンテナ）の外観である。

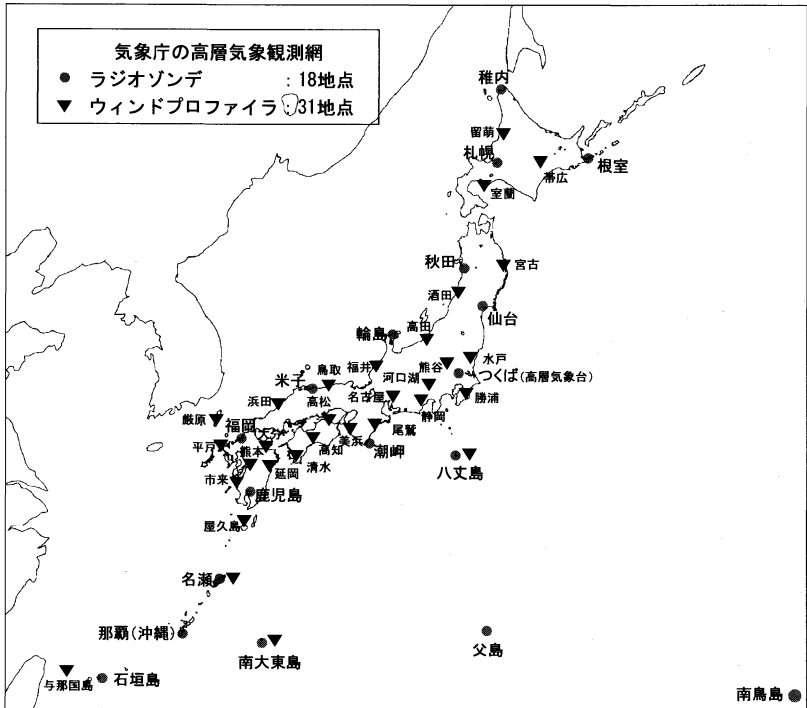
(1) 観測局の機器

ウィンドプロファイラの空中線（アンテナ）は、レーダーなどの放物面アンテナとは異なり、24本の半波長アンテナ素子を1列として、それを24列並べたアクティブフェーズドアレイアンテナ2組から構成される。各列の24本の素子には電力を同位相で供給し、列方向に位相を少しずつ遅らせて供給すると、各素子から発射された電波は合成されてひとつのビームとなり、そのビームは列方向に傾く。このアンテナは、この周波数帯のウィンドプロファイラとしては最大級の4m×4mの開口面積を持ち、高い送信及び受信利得を得ている。アンテナの周囲は、地形からの反射波（地形エコー）を遮断するためのクラッタフェンス（金属柵）が取り囲んでいる。その外側には、高周波増幅器などが収容されているモジュール収容架が置かれている。豪雪地域の観測局では、直径7mの半球状のレドームの中にアンテナ・クラッタフェンス・モジュール収容架が収納されている。

アンテナに隣接する観測局舎の中には、送受信装置（送信部、受信部、信号処理部）とデータ処理部が収納されている。データ処理部は、観測データを生成し中央監視局へ送信するためのパソコンであり、同時に観測局の各機器の制御と監視を行っている。アンテナからデータ処理部までは、京

第2表 WINDAS の主要諸元。

要 素	諸 元
システム全体	
観測局（ウィンドプロファイラ）数	25局（2001年4月）、6局（2003年6月）
中央監視局	気象庁本庁3階観測部現業室
観測局における観測時間間隔	10分
観測局からの観測値の出力間隔	1時間（10分値×6回）
中央監視局からの観測値の出力間隔	1時間（10分値×6回）
観測最低高度	400m（標準観測モード、以下同様）
各ビームの観測分解能	300m
高層風算出高度分解能	291m
観測到達高度	5.5km（25局の年平均値）
観測値の要素	風の東西成分・南北成分・鉛直速度・信号/雑音比・品質管理情報
観測値の出力形式	BUFR（二進形式汎用気象通報式）
ウィンドプロファイラ本体	
送信周波数、送信電力、占有周波数帯幅	1357.5MHz、1.8kW、10MHz以下
アンテナ開口面積、ビーム幅、アンテナ利得	4m×4m、4.1°、33dB
サイドロープレベル	-40dB以下、ただし屋久島のみ-60dB（仰角0～10°における最大値）
パルス幅（対応する高度分解能）	0.67、1.33、2.00、4.00μs（100、200、300、600m）
パルス圧縮	1、4、8bit（標準8bit）
パルス繰り返し周波数	5、10、15、20kHz
5方向のドップラー速度測定	1分ごと



第4図 気象庁の高層気象観測網。31のウィンドプロファイラ設置地点と18のラジオゾンデ観測地点を示す。

都大学宙空電波科学研究センターと三菱電機（株）が開発した下部対流圏Lバンドレーダ（橋口ほか、1999）を基礎として設計されている。

(2) 中央監視局

中央監視局は気象庁ビル3階の観測部現業室に設置されており、計算機と通信機器類から構成されている。中央監視局の役目は、観測局からデータを集め、集まったデータを品質管理し、観測データを気象庁の中央計算機システムである気象資料総合処理システム(COSMETS)へ送ることである。この中央監視局には、システムの運用と観測データを監視するために観測当番者が常駐している。

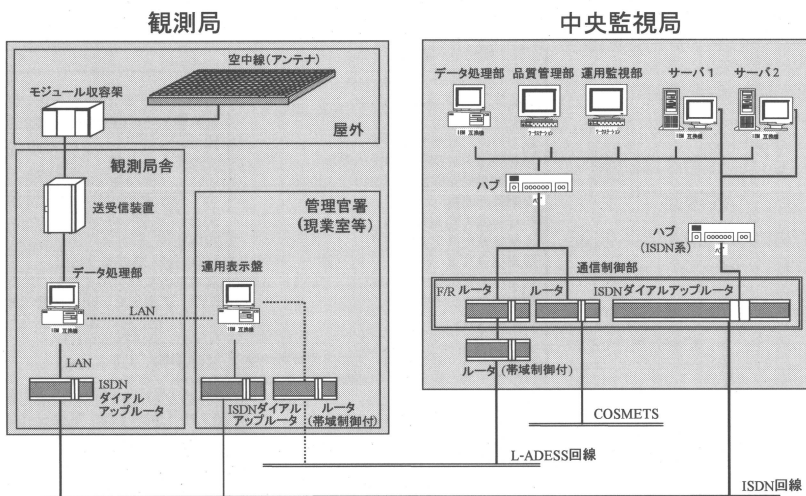
5.3 信号とデータの流れ

第7図はWINDASにおける信号とデータの流れである。電波は間欠的なパルスとして発射される。WINDASのウィンドプロファイラは 2.0μ 秒のパルスを1秒間に1万回の頻度で約0.4秒ずつ5方向に発射し、これを1分間に28回繰り返す。パルスが発射されていない 100μ 秒の間に上空で散乱され戻ってきた電波を受信し、送信時刻と受信時刻の時間差から測定高度を決める。

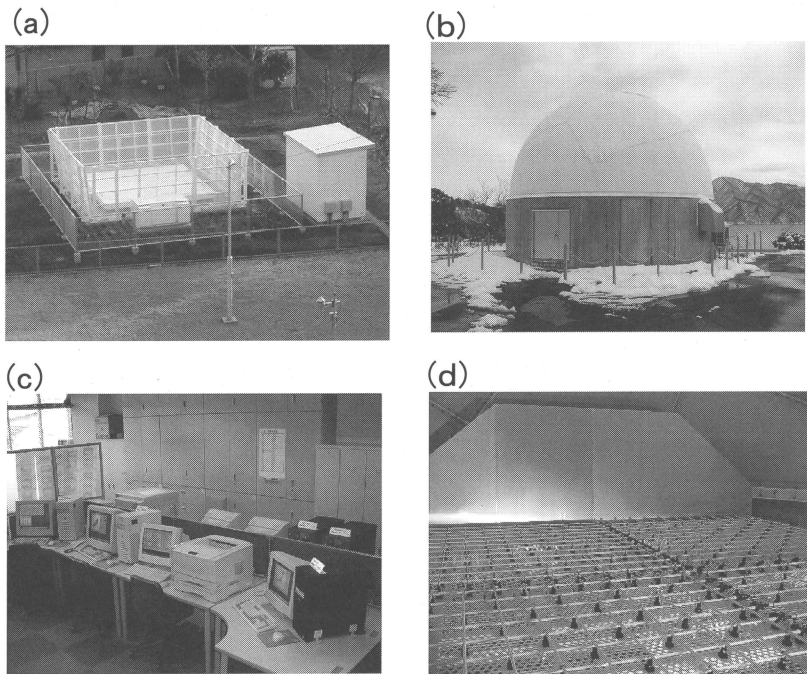
WINDASのウィンドプロファイラでは、2値符号位相変調方式(加藤ほか, 1982)による8ビットのパルス圧縮によって送信電力の増大を図っている。送信部は本来の長さの8倍の長さのパルスを作り送信する。このとき、パルスを時間的に8つのセクターに分割し、各セクターの位相を決められた量だけシフトさせる(パルスコーディング)。受信部では、受信信号に対してシフトした位相量を補正しながら移動平均をと

る(パルスデコーディング)。これによって、長さ4800mのパルスを発射して8倍の電力を得ながら、600mのパルス長に対応する300mの距離分解能を得ることができる。

受信部ではパルスデコーディングが終了した信号に



第5図 WINDASの機器構成図。



第6図 WINDASの観測局の外観。(a) 標準タイプ、(b) レドームタイプ、(c) 中央監視局、(d) レドーム内の納められた空中線(アンテナ)。

対して位相検波といわれる処理を施すことによって、受信信号と送信信号との位相差及びその振幅を得る。信号処理部では、信号対雑音比 (S/N 比) を高めるため位相情報を保存しながら 32 の位相差信号を積分する (コヒーレント積分)。次に、位相差信号を FFT (高速フーリエ変換) によって時間・周波数変換してドップラースペクトルを求める。その後、28 組のドップラースペクトルを積算してスペクトル曲線を平滑化する (インコヒーレント積分)。

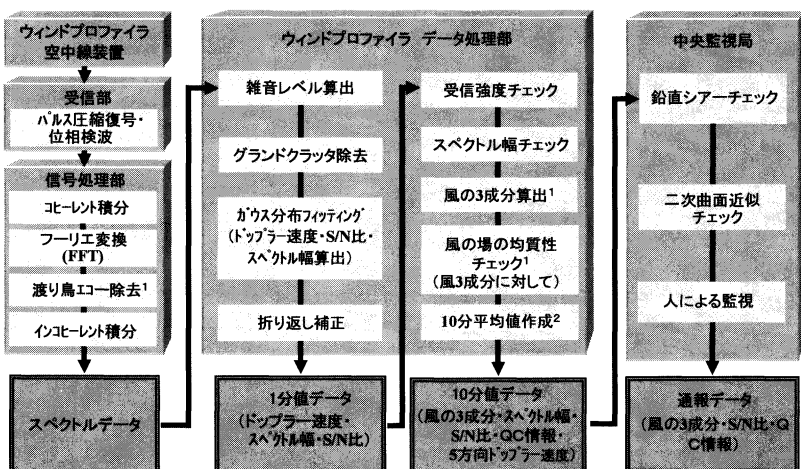
データ処理部ではスペクトル曲線をガウス分布で近似し、スペクトルのピーク (ドップラー速度)、スペクトル幅、受信強度 (S/N 比) を 1 分値として求める。ドップラー速度の 1 分値に 5.4 節で解説する品質管理を施しながら平均し、最大で高度 9 km までの各高度における風ベクトルを 300 m ごとに計算し、10 分値を作成する。なお、600 m のパルス幅から達成できる最低観測高度は原理的には 300 m であるが、WINDAS では信号処理の制約から 400 m となっている。

各観測局は 1 時間に 6 回得られる 10 分値を正時ごとに中央監視局に送っている。中央監視局では、10 分値に品質管理を施し、6 回分の 10 分値を集めて通報データとし、これを毎正時 20 分後までに COSMETS に出力している。

5.4 信号とデータの品質管理

ウィンドプロファイラが降水を含まない大気から受け取る信号 (大気エコー) はごく微弱であり、パルス圧縮やコヒーレント積分などの特有の処理を施すことによって初めて信号として認められる。一般にウィンドプロファイラでは、地形からのエコーや機器内部からのノイズ、さらに鳥や昆虫の大群の移動にともなうエコーによって誤った風を計算することがある。このため、WINDAS の運用においてはデータの品質管理が重要な作業のひとつとなっている。

第 3 表は WINDAS における信号処理とデータの品質管理の一覧である。このうちスペクトル幅チェックは大気エコーと降水エコーの判別や大気エコーと渡り



第 7 図 WINDAS における信号とデータの流れ。12003 年 2 月から実施。2コンセンサスアベレージ法。

鳥によるエコーの判別に効果がある。風の場の均質性チェックは、5 つのビームが同質の観測対象の中になく (例えば大気と降水雲) に起きる誤観測を判定することに効果がある。鉛直シアチェックと 2 次曲面近似チェック (Sakota, 1997) は、データの時間方向と高度方向の連続性を前提としている。これらの品質管理においてデータの良・不良を判定する「しきい値」は経験的に決めることが多い。このため、特に WINDAS が運用を開始した 2001 年度には、様々な条件下でしきい値を調整する作業が行われ、最適な値が決定された。また、9 節で述べるようにいわゆる「渡り鳥エコー」による誤観測への対策として、最近になって新たに組み込まれた品質管理処理もある (小林ほか, 2003)。

品質管理はデータの良・不良を判定するものであるが、真値がわかっているわけではないので、良と判定したデータが 100% 真であるとは限らず、また逆の場合も起こり得る。WINDAS では、中央監視局で行われている品質管理においては、不良と判定したときデータを削除することをせず、データの中の品質管理情報に「正常・疑問・欠測」というフラグを付加することにより、データの質を利用者に通知している。

5.5 観測データの利用

WINDAS の観測データは中央監視局から COSMETS に送られ、数値予報業務に使用されるとともに、各気象官署に配信され、実況監視や解析に利用されている。また、気象庁外の国内ユーザーへは他の気

第3表 WINDAS における信号処理とデータ品質管理の一覧

処理部位	信号処理・データ品質管理	処理の概要	効果
観測局 信号処理部	コヒーレント積分	32組の複素位相差信号を平均化する。	位相差信号の S/N 比の改善
	フーリエ変換	128の複素位相差信号からFFTによってドップラースペクトルを求める。	時間空間から周波数(速度)空間への変換
	渡り鳥エコー除去	受信強度が特に大きいドップラースペクトルを除去する。	渡り鳥エコーの除去
	インコヒーレント積分	28組のドップラースペクトルの平均化する。	スペクトルの平滑
観測局 データ処理部	地形エコー除去	ドップラースペクトルにおける速度ゼロ付近のスペクトル成分を除去し、間隙を直線補完する。	地形エコーの除去
	ガウス分布フィッティング	スペクトルをガウス分布で近似させ、ドップラー速度とスペクトル幅を求める。	S/N比の小さい信号からでもドップラー速度とスペクトル幅が求まる。
	折り返し補正	ドップラー速度が“送信周波数・パルス繰返し周波数/4”を超えたときに発生する折返しを、ドップラー速度の下層から上方への連続性を仮定することにより、補正する。	強風による誤観測の防止
	受信強度チェック	受信強度(S/N比)がしきい値より小さいとき、ドップラー速度を無効とする。	ノイズによる誤観測の防止
	スペクトル幅チェック	スペクトル幅がしきい値より大きいとき、ドップラー速度を無効とする。	種々のノイズによる誤観測を防ぐ。
	風の3成分算出	5方向または3方向のドップラー速度から、水平風と鉛直流を計算する。	
	風の場の均質性チェック	鉛直のみ、東西の組、南北の組から得られる3つの鉛直流の相互の偏差を調べ、偏差が大きいときドップラー速度を無効とする。	5つのビームで囲まれる領域の風の分布、あるいは降水の分布が付近いつであるとき生じる誤計算を防ぐ。
	コンセンサスアベレージ	10個の1分値の平均値から大きな偏差を示す1分値を取り除き10分平均値を求める。	
中央監視局	二次曲面チェック	時間・高度空間における風の東西成分値(または南北成分値)を二次曲面で近似し、この曲面からの偏差が大きい観測値を無効とする。	時間方向・高度方向に連続性が低い観測値を除去する。
	鉛直シヤーチェック	風速の鉛直シヤーがしきい値を超える観測値を無効とする。	非現実的な鉛直シヤーを生じさせる誤観測値を除去する。

象情報と同様に、気象業務支援センターを通じてオンラインで提供されている。さらに観測データはWMO加盟諸国が運用するGTS回線にオンラインで通報されている。また2002年4月からの観測データは、「気象庁月報」及び「高層気象観測年報」のCD-ROMに収録され、気象庁の非即時情報のひとつとして一般に公開されている。

第8図は、上記CD-ROM付属の表示ソフトを使ってWINDASの観測データを表示させた例である。

2002年の台風6号は、7月11日に房総半島を北東に縦断して銚子付近から太平洋上に進んだ。同日3時のレーダー・アメダス解析雨量図で見ると、水戸は台風の眼と思われる直径約200kmの環状のエコーの内側に位置している。このとき水戸のウィンドプロファイラが観測した高層風の時間高度断面図には、同日1時と5時の高度1～3kmには台風の眼の壁雲と思われるS/N比の大きい領域と30～35m/sに達する強風域が現れている。また、3時を中心として下層から中層ま

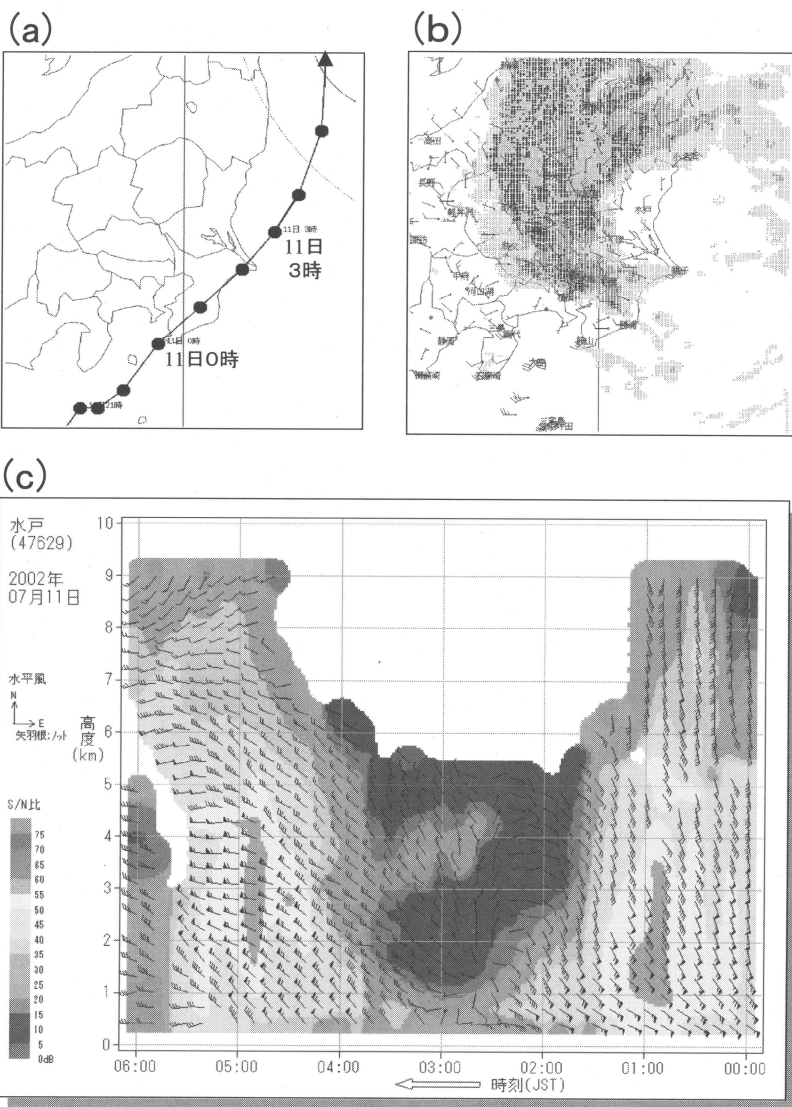
で弱風域が広がり、このときウィンドプロファイラが台風の眼の中にあることを示している。この例では、ウィンドプロファイラがその時間分解能の高さを生かして台風の中心付近の風の場をよく捉えている。

6. 観測精度の評価

これまでの研究や業務での実績により、ウィンドプロファイラが高い精度で高層風を測定することは知られているが(牧野・平, 1995)、WINDASの観測データは防災上重要な情報として使用されることから、3つの手段によりその観測精度を確認した。

(1) ラジオゾンデ内挿値との比較

国内のラジオゾンデ観測点の観測値を各ウィンドプロファイラ観測点へ内挿し、それらをウィンドプロファイラ値と比較した。2001年6月12日～2002年1月31日の観測データを使用した。ウィンドプロファイラによる風とラジオゾンデ内挿風との風速差の25地点平均値は、いずれの高度においても0.0～0.6 m/secの範囲にあった。これは、両観測値の間に系統的な偏り(バイアス)がないことを示している。一方、風速値の偏差を示す各高度の平均二乗偏差平方根(RMSE)は、3.4 m/sから4.1 m/sの範囲にあった。このRMSE値にはラジオゾンデとウィンドプロファイラの観測点が異なることによる偏差も含まれていることを考慮すると、ウィンドプロファイラ側のランダム誤差は上記のRMSE値よりさらに小さいと考えてよいだろう。



第8図 2002年7月11日に台風6号が通過した際の観測データ。(a) 台風の経路、(b) 同日03時のレーダーアメダス合成図。(c) 水戸のウィンドプロファイラが測定した風とS/N比の時間高度断面図。

(2) 近接するラジオゾンデとの比較

水戸のウィンドプロファイラの観測値と高層気象台(つくば市)のラジオゾンデの観測値を比較した。水戸のウィンドプロファイラは高層気象台の北東47 kmに位置している。第9図によると、2001年7月におけるウィンドプロファイラとラジオゾンデの観測値の偏差の平均値は、風の東西成分で0.4 m/s、南北成分で1.0 m/sであり、標準偏差は東西成分、南北成分ともに2 m/s以下ある。これによって両者の間には高い相関が

あることがわかった。

(3) 数値予報値との比較

気象庁数値予報課はウィンドプロファイラ観測値の精度を評価するため、各ウィンドプロファイラ地点でのウィンドプロファイラ観測値と領域スペクトルモデル (RSM) の予報値 (第1推定値) との間の風の東西成分に関する偏差 (D 値) を求め、同様に国内のラジオゾンデの観測値と予報値との D 値も求め、両者を比較した (数値予報課, 2001)。

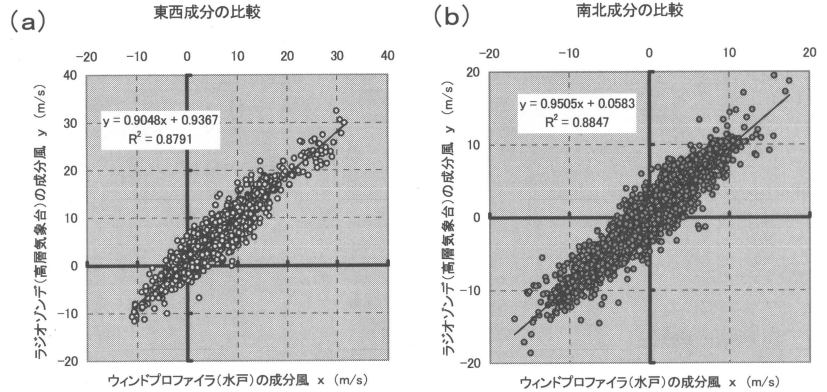
期間は2001年6月上旬と7月上旬である。D 値を用いて観測値の精度を統計的に評価することは、数値予報の業務で日常的に行われている。第10図に示す D 値の分布を見ると、ウィンドプロファイラとの D 値とラジオゾンデとの D 値は、単純平均で示される系統的な偏差 (バイアス), 及び RMSE で表されるランダム偏差ともにほぼ同等の値を示している。これはウィンドプロファイラの観測値がラジオゾンデの観測値と同程度の精度を有していることを示す結果である。

7. 運用実績

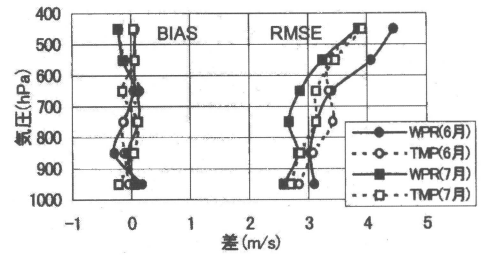
WINDAS の性能を評価するため、2001及び2002年度に観測到達高度を調査した。

ウィンドプロファイラが大気から受信する電波の強さ (受信強度) は、主に大気中の乱流の強さと水蒸気量の鉛直勾配に依存する (Tsuda *et al.*, 2001)。また降水があると降水粒子が散乱体となることから、気象条件の変化に応じてウィンドプロファイラの受信強度は大きく変動し、観測によってデータが得られる最高高度 (観測到達高度) も大きな変動を示す。観測到達高度はウィンドプロファイラの性能を示すひとつの指標である。

標準の観測モードである高度分解能300 m のもとで、季節によって観測到達高度がどのように変化するかを調べた。2002年3月～2003年4月の観測を無降水時・降水時・すべての3つに場合分けして各観測局における観測到達高度を集計し、各月の平均値を求めた。降水の有無の判別では、降水粒子の終端落下速度をもとに、最下層 (400 m) から第20層 (約6 km) におい



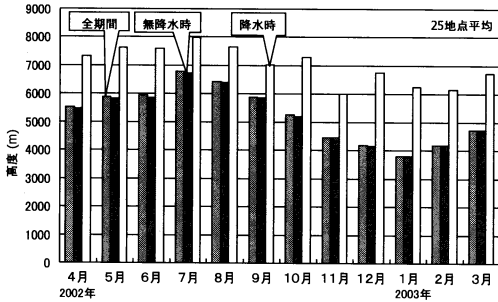
第9図 水戸ウィンドプロファイラと高層気象台のラジオゾンデによる風向と風速の散布図。2001年7月1日～31日。(a) 風の東西成分, (b) 風の南北成分。



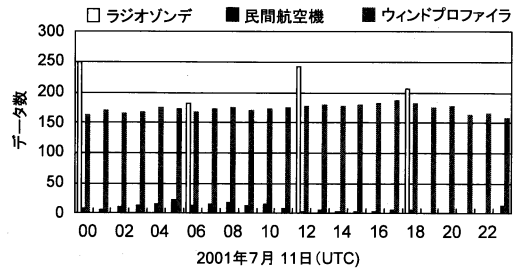
第10図 ウィンドプロファイラ観測値と気象庁領域数値予報モデルの第1推定値 (予報値) との間の風の東西成分に関する偏差 (D 値) の高度別分布 (数値予報課, 2001)。2001年6月上旬及び7月上旬の25地点のウィンドプロファイラについての平均値 (WPR)。同じく国内のラジオゾンデ観測値に関する D 値 (TMP)。

て鉛直速度が -2.0 m/s 以下のデータが10層以上に存在する場合を「降水あり」とした。ただしこの定義に従うと、雪やごく弱い雨の事例は「降水あり」とは判定されない。この調査では、明らかに雨やあられが存在した場合のみを「降水あり」としたことに注意していただきたい。

第11図に示す無降水時の月平均観測到達高度を見ると、7月の6.7 km を最大とし1月の3.8 km を最小とする正弦曲線のような曲線を描いており、これは大気による電波の散乱量が対流圏内の水蒸気量と密接な関係を持つことを示唆している。年間を通じての無降水時の観測到達高度は5.5 km であり、これは WINDAS を整備するにあたって設定した観測到達高度の目標値が達成されたことを示している。通常降水粒子からの



第11図 標準観測モード（高度分解能300 m）による2002年4月～2003年3月の観測到達高度。無降水時・降水時・全ての場合の3つに分けて、25地点のウィンドプロファイラの平均値を示す。



第12図 気象庁のメソ数値予報モデル（MSM）において4次元変分法データ同化システム（4D-VAR）によって初期値として使用されたラジオゾンデ、民間航空機及びウィンドプロファイラによる観測データの数。2001年7月11日の例を示す。12 UTCを計算開始とするMSMでは、07～12 UTCに得られた観測データが初期値として使用される。多田（2002）による。

信号強度は大気からのそれより大きいことから、降水時の観測到達高度は無降水時のそれより各月とも1.5～2.0 km 高い値を示している。降水時の到達高度も季節変化をしているが、これは季節による降水雲の背の高さの変化に対応していると推測される。降水の総時間数は非降水の総時間数にくらべて少ないので、降水時と無降水時をあわせた観測到達高度の平均値は、非降雨時の値に近い値を示している。ただし、観測到達高度より下の層であっても、強い乾燥域が存在するとデータが得られないことがある。また後述するように渡り鳥や地形などに起因する非気象エコーの影響により、データが得られていても品質管理において不良データとして判定され、データを利用できない層が出現することもある。降水の場合にはそれがごく弱いときであっても、降水が存在するほぼ全層においてデータが得られる。

8. 数値予報業務における利用

(1) 数値予報業務における利用

気象庁の数値予報業務においては、数値解析予報システム（NAPS）の中の解析システムが数値予報の初期値や境界条件となる解析値を作成している（数値予報課，2000）。解析システムはその解析範囲と格子間隔に応じて、全球解析，領域解析，メソ解析，台風解析の4種類に分けられる。WINDASのウィンドプロファイラ観測値は、2001年6月からこれらすべての解析システムにおいて使用されている。解析システムから得られた解析値は、それぞれ全球数値予報モデル（GSM），領域数値予報モデル（RSM），メソ数値予報モデル（MSM），台風数値予報モデル（TYM）の初期

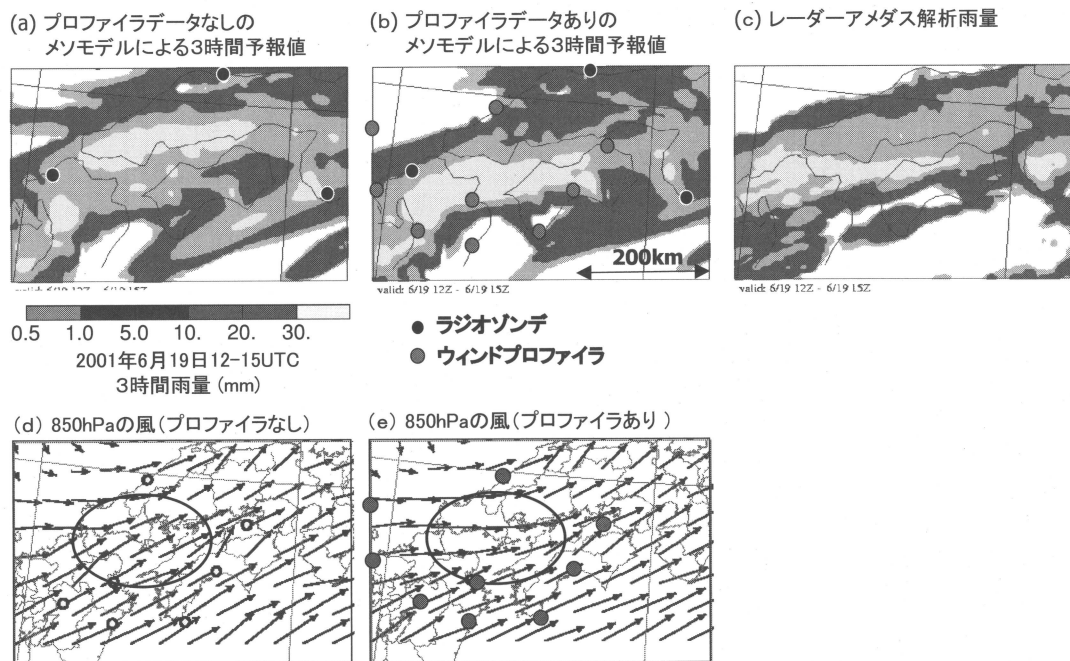
値として使用されている。このうち、MSMは水平格子10 km，鉛直40層の数値予報モデルであり、特にメソスケール現象の予報精度を向上させ防災気象情報を高度化するため、2001年3月に運用が開始された。

このMSMには2002年4月から4次元変分法によるデータ同化システム（4D-VAR）が導入された。4D-VARは時間的・空間的に解像度の高い観測値を数値モデルの力学をとおして初期値に反映させることによって、初期値の精度を飛躍的に向上させる手法である（数値予報課，2001，2002）。世界的にも現業のメソ数値予報モデルに4D-VARが採用されたのはこれが初めてである。

MSMの4D-VARではTを予報開始時刻とすると、まずT-6（時間）の観測データを初期値として予報方程式をT-6からTまで時間積分する。次にT-5～Tの各時刻における予報値とウィンドプロファイラなどの観測値との差を評価関数とし、その差が最小になるように反復計算を実施し、Tにおける最適初期値を決める。第12図はある1日（2001年7月11日）に気象庁の数値予報に使用された高層風のデータ数である（多田，2002）。MSMでは1日4回の予報開始時刻において、前6時間内の毎正時のウィンドプロファイラ観測値が使われる。これを見ると、WINDASの登場によってMSMに取り込まれる高層風のデータ数は飛躍的に増大したことがわかる。

(2) 数値予報への効果

WINDASのデータが数値予報に与える効果を、気象庁数値予報課が行ったインパクト実験で見ることに



第13図 メソ数値予報モデル (MSM) におけるウィンドプロファイラ観測値のインパクト実験 (効果実験)。

(a) はウィンドプロファイラ観測値なしの初期値にもとづき、2001年6月19日12 UTC から3時間予報を行ったときの3時間降水量。(b) 12 UTC の6時間前から4D-VARにより、ウィンドプロファイラ観測値のデータ同化を2回行い、その結果得られた初期値を使って予報を行った結果の3時間降水量。(c) は対応する期間のレーダー・アメダス解析雨量の3時間降水量である。(d) と (e) は、それぞれ (a) と (b) に対応する15UTCにおける850 hPaの風の予報値。数値予報課 (2001) から引用。

する (数値予報課, 2001)。2001年6月19日から翌20日にかけて、西日本に梅雨前線が停滞し活発なメソ降水システムを発達させた。これにともない愛媛県松山市内では大雨により1名が死亡し、和歌山・奈良両県で土砂崩れが発生した。この事例においてウィンドプロファイラ観測値を4D-VARによってMSMに取り込んだ場合と、取り込まなかった場合の数値予報の精度を比較した。第13図 (a) はウィンドプロファイラ観測値を使わずに2001年6月19日12 UTCの初期値を作成し、そこからMSMにより3時間予報を行ったときの3時間積算降水量である。(b) は12 UTCの6時間前から4D-VARによりウィンドプロファイラ観測値のデータ同化を2回行って初期値を作成し予報したときの3時間積算降水量である。(c) はそれらに対応するレーダー・アメダス解析雨量であり、比較にあたってはこれを実況値とする。

まず第13図 (b) の4D-VARによる予報では、3時間積算降水量が30 mmを超える大雨域が大分、愛媛の両県を中心に予想されており、これは (c) の実況値とよ

く一致している。一方 (a) では、強雨域は実況より100 kmほど北方にずれた山口、広島、岡山各県の南部に予想されている。こうした相違が生じた原因を調べるため、(a) と (b) に対応する15 UTCの850 hPaにおける風ベクトルの予報値を、それぞれ (d) と (e) に示す。(d) の楕円の中には、瀬戸内海西部の北向き成分をもつ風ベクトルが予報されている。一方 (e) では、ウィンドプロファイラ観測値を同化したことで、大雨域周辺の風の北向き成分が抑えられ、これによって大雨を実況とほぼ一致する領域に予想することとなった。この事例は、WINDASの観測データが数値予報の精度向上に大きく貢献していることを示している。

(3) 毎時下層風解析値

ウィンドプロファイラの時間分解能の高さを予報現場で効果的に利用するため、気象庁では実況監視資料として「毎時下層風解析値」を作成し各気象官署に配信している (数値予報課, 2001)。毎時下層風解析値は、MSMが出力する下層風の予報値をウィンドプロファイラ観測値で修正することにより、風の面的な分布を

ほぼリアルタイムで解析するものである。水平間隔20 kmで975, 950, 925, 850, 700, 500 hPaにおける風を解析し、気象官署に配信されている。これは空間的にも時間的にも分解能の高い解析値であることから、特にメソスケール現象の実況監視や航空気象業務での活用が期待されている。なお、最近では空港気象ドップラーレーダーや民間航空機の気象観測データも取り込んで解析を行うようになり「毎時風解析値」と改称した。

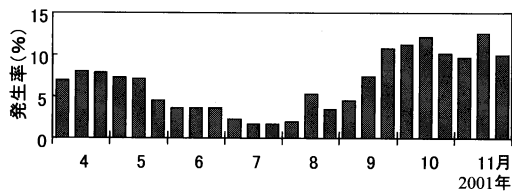
9. 観測の質に影響を与える現象と対策

ウィンドプロファイラが捉えることのできる大気エコーはごく微弱であることから、地形、渡り鳥、航空機、ウィンドプロファイラ自らが発生するノイズ、各ビームの測定領域内の風の不均一、5つのビームが囲む観測領域内の風の場の不均質、サイドロープによるエコーなどが風の測定に影響を与えることがある。これらのうち、WINDASでは地形と渡り鳥からのエコーの影響が大きかった。

(1) 地形による誤観測

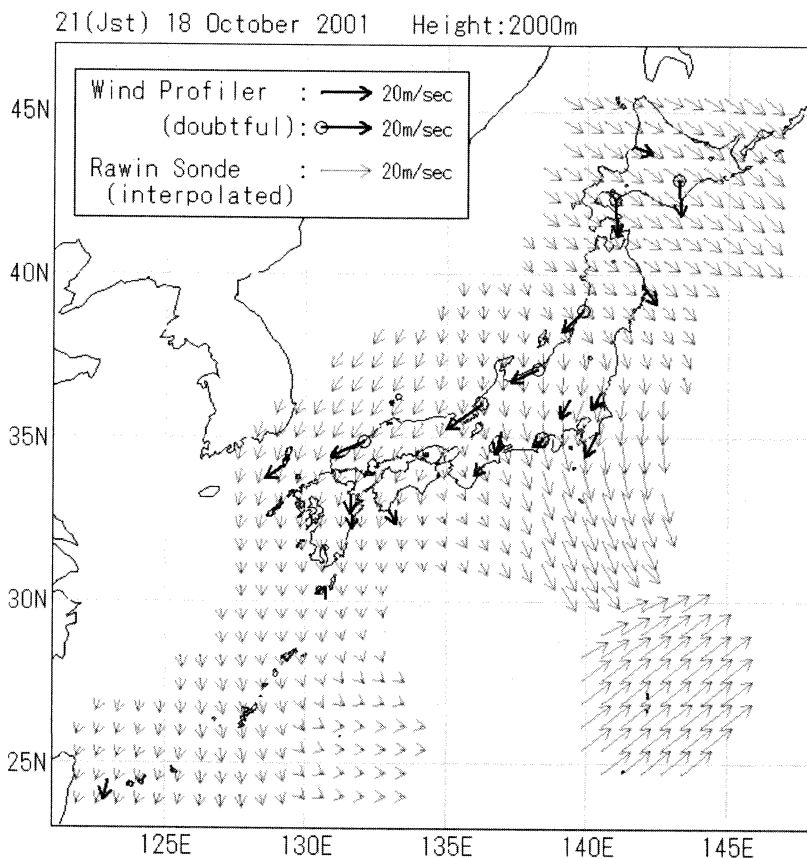
アンテナから目的方向に発射される電波をメインビームと呼ぶが、それ以外の方向にも電波が発射されており、これらをサイドロープという。サイドロープの電力はごく微弱である。しかしそれがほぼ水平に発射されると周囲の山や建物に反射し地形エコー(グランドクラッタ)として戻ってくると、それが誤観測の原因となる。これに対してWINDASでは2つの対策を用意している。

ひとつはサイドロープの送信を抑えるとともに、それによる受信波を物理的に遮断することである。このため第6図aのように、アンテナの周囲には高さ2 mの金属性のフェンス(クラッタフェンス)を設置し



第14図 2001年4月～11月における25地点での渡り鳥エコーの旬別平均発生率。

ている。ただし、ごく近傍に山や建物があるような場合には、こうしたフェンスであってもサイドロープを完全に遮断できないことがある。2つめの対策はソフトウェアによる地形エコーの除去である。ドップラースペクトルの上では、地形エコーはドップラー速度ゼロを中心とした鋭いピークを示す。まずドップラー速度ゼロを中心とする各点でスペクトル曲線の傾きを計算する。傾きがしきい値を越える部分を地形エコーと見なしその部分を削除し、残され隙間の両端を直線で



第15図 秋の渡り鳥エコー発生時のウィンドプロファイラ(太矢印)及びゾンデ内挿風(細矢印)。2001年10月18日21時の高度2000 m。

結び、地形エコーを除いたスペクトル曲線としている。

WINDAS では運用開始当初、いくつかの観測局で地形エコーが観測に影響を与え、特定の高度の風速が実際より弱く測定されるなどの問題が生じた。特にアンテナにレドームが設置されている地点のクラッタフェンスはレドームのない地点のクラッタフェンスよりやや小型であることから、この傾向が現れた。このため、クラッタフェンスを補強するとともに、地形エコー除去プログラムにおいて地形エコーとみなし除去するスペクトル成分をそれまでよりも増やすことにした。これによって2001年12月以降、地形エコーによる誤観測は各観測局においてほとんど出現していない。

(2) 渡り鳥による誤観測

春と秋を中心に出現する渡り鳥が、WINDAS に誤観測をもたらす。誤観測の発生時期や天候との関係、受信信号の性質、渡り鳥の生態との関係や、米国や欧州での実績 (Wilczak *et al.*, 1995; Engerhart and Gørsdorf, 1997) などを調査した結果、こうした誤観測は渡り鳥の群れがウィンドプロファイラの電波を散乱することによって起きることがわかった。上空を鳥の集団がある方向に飛ぶとき、それらが散乱する電波(渡り鳥エコー)をウィンドプロファイラが受信し、鳥の移動ベクトルを大気の流れ(風)と誤って測定するのである。

2002年12月までの調査によって、渡り鳥エコーとそれによる誤観測値は次のような性質を持つことがわかった(小林ほか, 2003)。

- ・発生する量の違いはあるが、渡り鳥エコーはWINDAS のいずれの地点でも発生する。WINDAS の観測で得られる全データ数の中で、渡り鳥が影響を与えたと思われるデータ数の割合を渡り鳥エコーの発生率と定義すると、第14図のとおり2001年4月～11月の25地点での平均発生率は4月の8%と10月の12%にピークを示し、7月に2%の最小値を示した。期間中の平均値は7%であった。
- ・渡り鳥エコーは夕方19時頃から増加をはじめ、23時にピークを示し、その後朝8時に向かって減少する。昼の13時にもピークがあるが夜間ほどの値は示さない。
- ・渡り鳥エコーが出現する高度は通常は地表付近から2～3 km であり、最高で4 km である。
- ・渡り鳥の移動ベクトルは4～6月には北向き、8～11月には南向きを示すことが多く、気圧配置から

推定される風の場合から風向で最大90°、風速で最大10 m/s の偏差を示す。第15図は渡り鳥エコーが顕著に出現した2001年10月18日21時にラジオゾンデによって観測された高度2 km の風(約70 km の格子内に挿入している)と、ウィンドプロファイラが観測した“風”である。後者のベクトルは渡り鳥の移動ベクトルであり、多くの地点でラジオゾンデにくらべその向きが西に偏る傾向がある。春に渡り鳥が示す“風”は、ラジオゾンデの風より北向きに偏る地点があるが、秋の場合ほどには組織的ではないように見える。

- ・渡り鳥エコーの受信強度は降水エコーと同じ程度に強く、スペクトル幅は大気エコーより広く、鉛直速度成分は+1～-1 m/s の範囲にある。また、受信強度の1分平均値の時系列を見ると、その時間変化は大気エコーの時間変化より大きい。

渡り鳥エコーは無降水時に限って出現することから、大雨や大雪など激しい気象じょう乱を監視するというWINDAS の第一の目的に影響を与えることはないが、不良データを放置することはできない。一般に渡り鳥エコーのスペクトル幅は大気エコーのそれより大きい。この性質を利用して、観測局で実施しているスペクトル幅チェックのしきい値を当初の6.0 m/s から2.0 m/s に変更したところ、渡り鳥による観測値を識別することが可能となり、これによる渡り鳥にともなう誤観測値の除去を、2001年12月6日から開始した。

その後、渡り鳥エコーの位相差信号を調べたところ、渡り鳥エコーと大気エコーは混在することが多く、このとき渡り鳥エコーの信号強度は大気エコーの信号強度にくらべて相対的に大きいことがわかった。信号処理部におけるインコヒーレント積分では、28のドップラースペクトルを積算し平均化している。この中で渡り鳥エコーに起因すると思われる大きな信号強度を示すスペクトルを除去しながら積算すると、大気エコーだけによるスペクトルを取り出すことが可能となることがわかった。こうして得られたドップラースペクトルからドップラー速度を求めれば、真の風向風速を算出することできる。こうした原理にもとづいて新しい渡り鳥エコー除去プログラムを開発し、2003年2月から信号処理部に組み込んだ(小林ほか, 2003)。この処理により渡り鳥エコーが混入したことによって不良となっていたデータのうちの約半数において、真の風の算出することが可能となった。

10. 観測データの特徴と注意点

観測最高高度が季節や気象条件によって変動するなど、ウィンドプロファイラによる高層風観測は、従来の観測手段とは性格の異なるところがある。WINDASの観測データが収録されている気象庁月報及び高層気象観測年報には、ウィンドプロファイラの観測データを使用する上での注意点が掲載されている。本解説の付録にはこれらの注意点を転記したので、WINDASのデータを利用する際の参考としていただきたい。

11. おわりに

WINDASの運用開始直後から、品質管理パラメータの最適化やハード・ソフト面でさまざま改修や改良が行われ、これによって現在では高い品質の観測データが提供できるようになった。風の観測に限られるものの、WINDASの出現によってメソスケールの大気現象に対応するような空間・時間密度を有する高層気象観測が日常的に行われるようになった。WINDASは洪水や土砂災害などの気象災害をもたらす大気現象の予測や監視の改善に貢献するとともに、それらの構造や物理過程を理解する上でも有効な情報を提供するものと思われる。WINDASのデータが気象庁の業務をはじめ、気象庁の外でも広く利用されることを期待している。

謝 辞

WINDASの整備にあたっては、京都大学宙空電波科学研究センターの深尾昌一郎所長及び橋口浩之氏並びに気象研究所の小林隆久氏及び足立アホロ氏からご協力をいただきました。通信総合研究所及び福島大学からは有益な情報の提供を受けました。米国海洋大気庁 (NOAA) からは、ウィンドプロファイラの運用に関する情報の提供を受けました。無線局の開局手続きに関して、総務省総合基盤通信局にご尽力いただきました。渡り鳥の生態に関しては、山階鳥類研究所からご指導いただきました。各機関の皆様に感謝いたします。

本解説の投稿にあたって、貴重なコメントをいただいた東京大学の中村尚氏及び防衛大学校の小林文明氏に感謝いたします。

参 考 文 献

European Commission (EC), 2001: Development of VHF/UHF wind profilers and vertical sounders for

use in European observing systems, COST-76 Final Report.

Engerhart, D. and R. Görsdorf, 1997: Effects and observation of migrating birds on a boundary-layer wind profiler in a eastern Germany, COST-76 Workshop, Engelberg, 227-230.

深尾昌一郎, 1989: 大型レーダーによる高層大気波動の研究, 天気, **36**, 341-346.

Hashiguchi, H., S. Fukao, T. Tsuda, M. D. Yamana-ka, D. L. Tobing, T. Sribimawati, S. W. B. Harijono and H. Wiryosumarto, 1995: Observations of the planetary boundary layer over equatorial Indonesia with an L-band clear-air Doppler radar: Initial results, Radio Sci., **30**, 1043-1054.

橋口浩之, 深尾昌一郎, 津田敏隆, 山本 衛, 中村卓司, 佐藤 亨, 山中大学, 浜津享助, 磯村昭彦, 1999: RASCにおける境界層レーダー開発, 第3回 MU レーダーシンポジウム, 64-68, 京都大学超高層電波研究センター. 石原正仁, 2001: 気象庁がウィンドプロファイラ観測業務を開始, 気象, **9**, 17378-17384.

加藤進, 福山 薫, 若杉耕一, 佐藤 亨, 深尾昌一郎, 1982: 大型レーダーによる中層大気の観測, 気象研究ノート, (**144**), 1-55.

気象衛星・観測システム研究部, 1995: ウィンドプロファイラによる気象の観測法の研究, 気象研究所技術報告, **35**, 88pp.

気象庁, 1999: 関東地域メソ解析プロジェクト, 気象庁技術報告, 120pp.

気象庁, 2000: 平成12年度 今日の気象業務.

小林健二, 泉川安志, 阿保敏広, 石原正仁, 河原恭一, 若山俊夫, 松田知也, 2003: 気象庁のウィンドプロファイラ観測における渡り鳥エコーの影響と対策, 天気, 投稿中.

高層気象台, 観測部, 予報部, 1998: ウィンドプロファイラによる風観測の定常化に関する業務実験, 測候時報, **65**, 137-228.

牧野義久, 平 隆介, 1995: NOAA のウィンドプロファイラ・データ調査, 測候時報, **62**, 233-250.

NOAA (U. S. Department of Commerce and National Oceanic and Atmospheric Administration), 1994: Wind profiler assessment report and recommendations for future use 1987-1994, U. S. Department of Commerce, 141pp.

Röttger, J. and R. A. Vincent, 1978: VHF radar studies of tropospheric velocities and irregularities using spaced antenna technique. Geophys. Res. Lett., **5**, 917-920.

迫田優一(訳), 1997: ウィンドプロファイラアセスメントレポート—将来への勧告—1987-1994. 測候時報,

- 64, 213-298.
- Sakota, Y., 1997: Improvement of the quality control scheme over six-minute-interval wind profiler data, COST-76 Profiler Workshop Extended Abstract, 243-246.
- 数値予報課, 1998: メソ数値予報の実用化に向けて, 数値予報課報告, 別冊44, 気象庁, 1-13.
- 数値予報課, 2000: 新しい数値予報システム, 数値予報課報告, 別冊47, 気象庁, 1-7.
- 数値予報課, 2001: 新しい数値解析予報システムの検証, 数値予報解説資料, 34, 気象庁, 65pp.
- 数値予報課, 2002: 変分法データ同化システムの現業化, 数値予報課報告, 別冊48, 気象庁, 1-16.
- 多田英夫, 2002: 数値予報システムにおける国内ウィンドプロファイラデータの利用, 日本気象学会2002年度春季大会予稿集, C110.
- Tsuda, T., M. Miyamoto and J. Furumoto, 2001: Estimation of a humidity profile using turbulence echo characteristics, J. Atmos. Oceanic Tech., 18, 1214-1222.
- Wilczak J. M., R. G. Strach, F. M. Ralph, B. L. Weber, D. A. Merritt, J. R. Jordan, D. E. Wolfe, L. K. Lewis, D. B. Wuertz, J. E. Gaynor, S. A. McLaughlin, R. R. Rogers, A. C. Riddle and T. S. Dye, 1995: Contamination of wind profiler data by migrating birds: characteristics of corrupted data and potential solutions, J. Atmos. Oceanic Tech., 12, 449-467.
- Woodman, R. F. and A. Guillen, 1974: Radar observations of winds and turbulence in the stratosphere and mesosphere, J. Atmos. Sci., 31, 493-505.
- 略号一覧**
- COSMETS: Computer System for Meteorological Services (気象庁の気象資料総合処理システム)
- EC: European Commission (ヨーロッパ委員会)
- FFT: Fast Fourier Transform (高速フーリエ変換)
- 4D-VAR: 4-dimensional variational data assimilation (4次元変分法によるデータ同化システム)
- GOS: Global Observation System (WMOの全球観測システム)
- GSM: Global Spectral Model (気象庁の全球数値予報モデル)
- L-ADESS: Local Automated Data Editing and Switching System (気象庁の気象資料伝送網)
- MSM: Mesoscale Model (気象庁のメソ数値予報モデル)
- NAPS: Numerical Analysis and Prediction System (気象庁の数値予報解析システム)
- NOAA: National Oceanic and Atmospheric Admin-

istration (米国海洋大気庁)

RSM: Regional Spectral Model (気象庁の領域数値予報モデル)

S/N比: signal noise ratio (信号対雑音比: S/Nと記すこともある)

TYM: Typhoon Model (気象庁の台風数値予報モデル)

WINDAS: Wind Profiler Network and Data Acquisition System (気象庁の局地的気象監視システム)

WMO: World Meteorological Organization (世界気象機構)

WWW: World Weather Watch (WMOの世界気象監視計画)

付録

ウィンドプロファイラ観測値を利用する上での注意点 (気象庁月報及び高層気象観測年報 CD-ROM に掲載)

(1) 観測できる高さは気象条件によって異なる。

大気中に水蒸気を多く含む場合には、電波の散乱が大きいため高い高度までの観測が可能だが、逆に乾燥した大気では観測できる高度が低くなる。

(2) 極端な値や短い時間スケールの現象による風の変化は除外されていることがある。

ウィンドプロファイラは、上空の大気で散乱され再び地上に戻ってきた微弱な電波の周波数偏移を測定することで上空の風を観測する。観測値はノイズや気象条件の影響を受けるため、得られる値には時として異常な値を含むことがあり、品質管理を行うことによって正常な値のみを残すようにしている。

品質管理は主として観測値の時間方向と高度方向の連続性に着目し、観測時刻を含む1～2時間程度の時系列値に対して近似的な変化パターンを計算し、そこから極端にずれた観測値を不良としている。その結果、数10分以下の時間スケールの現象にともなう風の変化、例えば積乱雲のようなメソ γ (ガンマ) スケールの現象にともなう風の変化などは除外される可能性がある。

(3) 「鉛直速度」は、大気の上昇・下降流を表している場合と、降水粒子の鉛直速度を表している場合がある。

上空に降水がない場合には、「鉛直速度」は大気の鉛直流の大きさを示す。一方、大気中に降水があるときには、「鉛直速度」は降水粒子の鉛直速度を表す。したがって、「鉛直速度」がマイナスの大きな値となった場合には、降水粒子の鉛直速度であると考えられる。ただし、この場合でも水平風は大気の流れを表している。

(4) 降水現象の始まりや終わりの時期には、データが欠落することがある。

ウィンドプロファイラは上空の5方向(鉛直方向および仰角約80度に傾けた東西南北方向)に電波を発射しているために、ある広がりをもった空気塊の平均的な移動

速度を観測している（例えば高度 5 km では観測領域は半径 900 m の円となる）。降水現象の始まりや終わりの時期には、測定対象となる空気塊中の降水粒子の分布が観測領域で不均一になるため、正確な風を得ることが困難になり観測値が欠測になることがある。

(5) 春や秋の晴れた日の夜間には、“渡り鳥”の影響によりデータの欠落が多くなる。

ウィンドプロファイラは大気や降水粒子のほかに、鳥などの飛揚物体からの影響も受ける。特に、春や秋の晴れた夜間を中心に渡り鳥が多数飛んでいるようなときに

は、異常なデータを観測することがあり、そのような異常なデータは品質管理により取り除いている。その結果、データ量が通常よりかなり少なくなることがある。

(6) 品質管理情報の利用

ウィンドプロファイラ観測値ファイルには観測値と併せて品質管理情報を収録している。観測値ファイルを自前のプログラム等で直接読み取り利用する際には、この品質管理情報を参照し、“正常値”のみを使用することをおすすめする（添付した表示プログラムでは“正常値”のみを表示している）。

The Wind Profiler Network of the Japan Meteorological Agency

Yoshio KATO*, Toshihiro ABO**, Kenji KOBAYASHI**,
Yasushi IZUMIKAWA** and Masahito ISHIHARA**

* Office of Upper-air Observations, Observations Department, Japan Meteorological Agency
Tokyo 100-8122, Japan.

** Observations Department, Japan Meteorological Agency.

(Received 10 September 2003 ; Accepted 10 November 2003)

今年お世話になったレフェリーの方々（2003年）

遊馬	芳雄	足立	樹泰	石田	祐宣	田口	彰一	千葉	修	手柴	充博
磯部	英彦	伊藤	秀喜	大窪	浩	遠峰	菊郎	中井	専入	中澤	哲夫
大野	久雄	大橋	唯太	金久	博忠	永田	雅	仲野	責	中村	尚
菅野	洋光	楠	研一	工藤	泰子	萩野谷	成徳	早坂	忠裕	檜尾	守昭
桑形	恒男	小林	文明	近藤	純正	平沢	尚彦	藤野	毅	藤吉	康志
榊原	均	笹岡	雅宏	佐藤	尚毅	古川	武彦	別所	康太郎	馬淵	和雄
里村	雄彦	塩原	匡貴	柴田	清孝	水野	芳成	水野	量	村上	正隆
菅原	広史	鈴木	修	清野	直子	山田	芳則	山岬	正紀	吉崎	正憲
高橋	俊則	高橋	清利	高橋	忠司	吉野	勝美				
高橋	日出男	高薮	縁	滝川	雅之						