

## 第3章 ウィンドプロファイラー構成

気象研究所ウィンドプロファイラーは米国 TYCHO TECHNOLOGY, INC 製モデル 400 型で 404.37 MHz のパルス電波を送受信を兼ねるアレーアンテナにより鉛直、鉛直から15度傾いた北東および北西方向に発射し、風向、風速の鉛直プロファイルを測定する。気象研究所観測露場には処理装置が納められている観測小屋およびアンテナが設置してある。気象研究所でのウィンドプロファイラー配置図を図3.1に示す。斜線部の引いた場所に、アンテナビームの方向が気象研究所本館に向かないように設置してある。ビームの方向は斜線から出ている矢印で示してある。アンテナの大きさは約12m×12mである。観測小屋はトレーラー状になっておりシェルターと呼ばれている。観測結果は気象研究所本館の研究室に送られ、リアルタイムでのモニターが可能となっている。

### 3.1 構成の概要

ウィンドプロファイラーは、電波送信装置、受信装置、アンテナ、送受切り換え器 (T/Rスイッチ)、機器の様々なコントロールや観測条件の設定そして受信信号の一部の処理を行うプロセッサ (リアルタイム処理装置: RTP, Real Time Processor)、データの処理、保存およびグラフィック表示等を行うデータ処理装置から構成されている。図3.2 (a) に送受信装置およびリアルタイムプロセッサそして (b) にデータ処理装置の写真が載せてある。

プロファイラーの動作は次の様なフローで行われる。プロセッサからの信号によりアンテナ

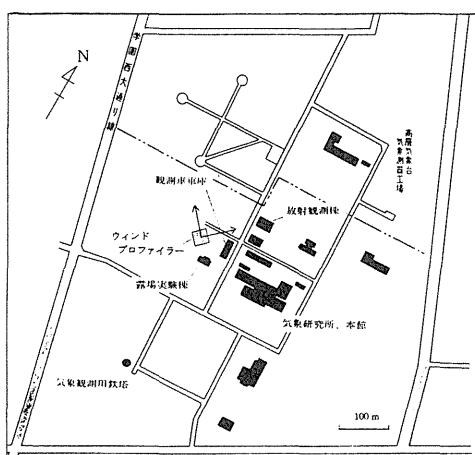
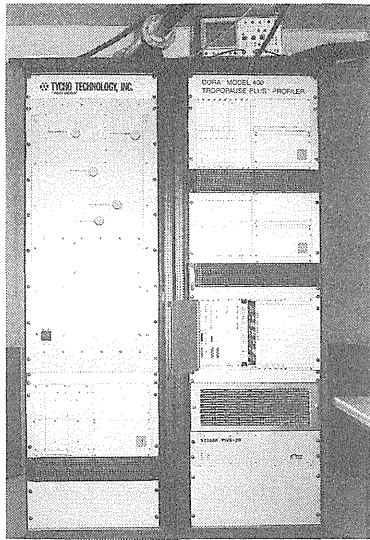
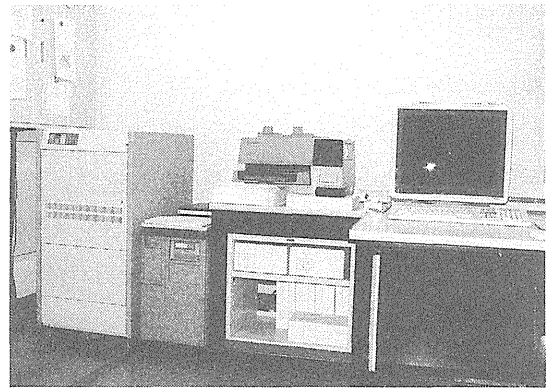


図3.1 気象研究所ウィンドプロファイラーの配置図。斜線の四角がアンテナ、矢印が送信ビームの方向を表している。

松浦和夫



(a)



(b)

図3.2 ウィンドプロファイラー送受信装置(a)およびデータ処理装置(b)の写真。

制御部が、送信する電波の位相およびビーム方向をセットアップすると共にT/Rスイッチが送信モードになる。そして、プロセッサの信号により受信機がパルス信号を作り、増幅してアンテナから送信する。また、アンテナで受信された大気からの信号は逆のルートを取り、プロセッサで種々の処理をほどこされた後データ処理装置で最終の観測結果を出力する。アンテナ、送信器、受信器、リアルタイムプロセッサおよびその端末 (KDU: Keyboard Display Unit) が観測露場に、マイクロVAX等から成るデータ処理装置およびリアルタイムプロセッサのもう1つの端末は研究所本館の研究室に設置してある。このシステムブロック図を図3.3に示してある。また、各装置の主要性能を表3.1にまとめてある。

### 3.2 受信装置

受信装置は送信信号を作ると共に受信信号の検波を行うものである。本装置は、リミッター (RLI: Receiver Limiter), 周波数モジュール (RRF: Receiver Radio Frequency Module), 中間周波数モジュール (RID: Receiver Intermediate Frequency and Detector Module), マッチドフィルター (RMF: Receiver Matched Filter), 局発モジュール (RLO: Receiver Local Oscillator and Modulator Module), CMPモジュール (Controller/Monitor Processor Module), 電源部 (RPS: Receiver Power Supply) 等から成り立っている。受信装置における信号の流れは図3.4に示してある。

まず、プロセッサからの命令で送信パルスが作られる。局発モジュールにある2つの水晶発

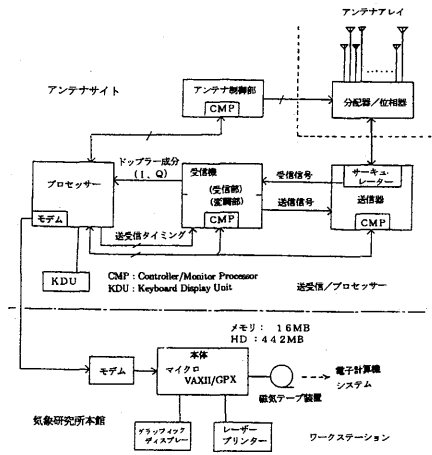


図 3.3 ウィンドプロファイラーシステムブロック図。

表 3.1 ウィンドプロファイラーの緒元。

・ アンテナ系	
形式	パッシブフェイズドアレイ型
素子	同軸コリニア、144素子
ビーム幅	4.1° (-3dB, One Way)
利得	33 dB
開口面積	125m <sup>2</sup> 、(実効面積 87.2m <sup>2</sup> )
・ 送信系	
中心周波数	404.37 MHz
送信電力	35 kW (Peak, Nominal)
パルス幅	1.67 μs (低高度モード), 6.67 μs (高高度モード)
パルス周期	100 μs (低高度モード), 153.5 μs (高高度モード)
・ 受信系	
局部発振器	水晶
中間周波数	70 MHz
帯域幅	2.5 MHz
雑音指数	2.5 dB
・ 総合性能	
測風範囲	約 0-100 m/s (水平方向), 0-24 m/s (鉛直方向)
測風精度	約 1-1.5 m/s (水平方向), 0.25 m/s (鉛直方向)
測風高度	0.5-9 km (低高度モード), max 16 km (高高度モード)
高度分解能	250 m (低高度モード), 1000 m (高高度モード)
時間分解能	6 min (観測周期)

振器による 334.37 MHzと 70.000 MHzの 2 信号の合成周波数 404.37 MHzの信号を作り、パルス変調してフィルタとバッファアンプを通して送信器に送られる。また、これらの信号は受信信号の内部処理にも用いられる。アンテナで受信した大気からの反射信号は、サーキュレータ（方向性結合器）を介した後、T/Rスイッチを通る。これは、受信時には、送信時の大きな電力をショートし、小さな受信信号のみを取り出すものである。次に、ピンダイオードによるリミッターにかけられ、振幅の最大値が制限される。これは RRFにある高感度のローノイズアンプ (LNA) を守ることを目的としている。リミッター出力は、ローノイズアンプおよび中心周波数404.37MHz、バンド幅 6 MHzのバンドパスフィルターを経て高周波アンプ (RFアンプ) でもう 1 段階増幅される。ここまですべて RRFで行われており受信信号のS/Nが改善されている。

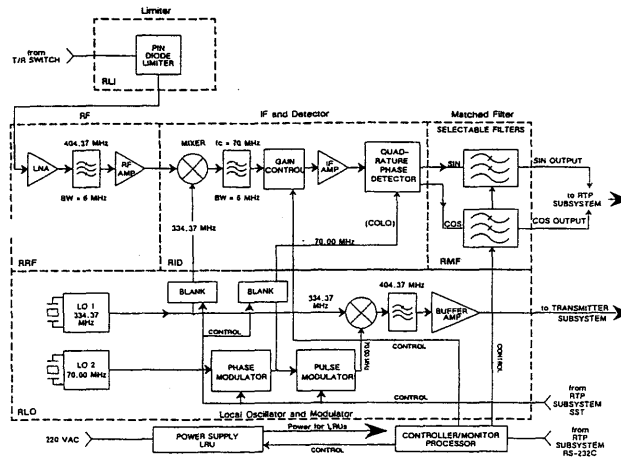


図 3.4 ウィンドプロファイラー受信装置構成図 (Tycho Manual)。

RRF モジュールからの出力信号は、スーパーヘテロダイン方式の RID モジュールに送られる。このモジュールはミキサー、バンドパスフィルター、利得調整、中間周波増幅器そして直交位相検波器から構成されている。RRF からの信号は、局発からの 334.37 MHz の信号と合成されて 70 MHz (±ドップラーシフト周波数) の中間周波数に変換され、バンドパスフィルターを通り、中間周波増幅された後直交位相検波器に送られる。この直交位相検波器は振幅と共に位相の情報を得るもので、I および Q と呼ばれる 2 つのチャンネルを持っている。I チャンネルには局発からの 70 MHz の信号をそのまま、もう一方の Q チャンネルには 90 度位相をずらした信号が加えられる。詳細は第 4 章で述べるが、この 2 つの信号によりドップラーシフトが正であるか負であるかを判別することができる。I と Q 信号はパルス幅などの変化に応じて最適な特性を得るために特性を変えられるフィルター (RMF モジュール) を通ってプロセッサに送られる。なお、受信器には CMP モジュールと呼ばれるインテル 8032 マイクロプロセッサ (24 ビット入出力、32 チャンネル A/D 変換器) が付いており、受信器の機能を監視している。

### 3.3 送信装置

受信器で作られた 404.37 MHz のパルスをつランジスタ増幅器 (LPU: Low power Unit) で 800 W まで増幅し、次に真空管増幅器 (HPU: High Power Unit) により 35 kW まで増幅する。増幅された信号は T/R スイッチに送られる。ここでの機能もまた受信機のマイクロプロセッサで監視されている。ピーク送信電力は 35 kW、Duty Cycle (パルス幅×パルス繰り返し周波数) は 1.67% (低高度モード) あるいは 4.34% (高高度モード) なので平均電力は 0.58 kW (低高度モード)、1.5 kW (高高度モード) である。

### 3.4 アンテナシステム

気象研究所ウィンドプロファイラーは、モノスタティックレーダーで1つのアンテナで送受信を行っている。3方向に電波を発射するためには、境界層レーダーでよく用いられるようにパラボラアンテナ3台を使用したり、1台のパラボラアンテナをスキャンしても良いが波長が長いこともあり、本ウィンドプロファイラーではフェイズドアレーアンテナを使用している。フェイズドアレーアンテナは144個のコリニアアンテナを平面状に配置したもので(図3.5)、各アンテナ素子に位相の異なった電力を給電することによりアンテナの向きを動かしたのと同じように送信される送信電波の進行方向を変えるものである。なお、図3.5に示したアンテナ素子の数は現在のものと若干異なっている。

アンテナシステムは、シェルターにあるアンテナコントローラーと屋外の露場にあるアンテナRFユニットから構成されている。コントローラーはRTPとアンテナRFユニットの間のインターフェースで、電波の送信方向などのRTPからの信号をRFユニットに伝えている。コントローラーからの信号を受けてRFユニットは送信ビームの発射方向を変える。送信機からの電力はまずパワースプリッターにより6つに分割され、6つある位相変換部にそれぞれ送られる。位相変換部は5つのリレーを持っている。これらのリレーにより位相が0度、+N度および-N度(N=0, 60, 120, 180, 240, 300度)異なった電力を作る。この電力はさらに12個に分割されアンテナ素子に送られる。分割された電力は送信器からの入力を35kWとすると約420Wあるいは840W(中心付近のアンテナ素子)である。

アンテナ素子は、長さ4波長の同軸コリニアアンテナで形状はダイポールアンテナに似ている。全てのアンテナ素子から同位相の電波を発射すれば鉛直方向に電波は送信される。また、位相を適当に変えればその合成された電界は異なる方向に向くようになる。図3.6 (Van de Kamp,

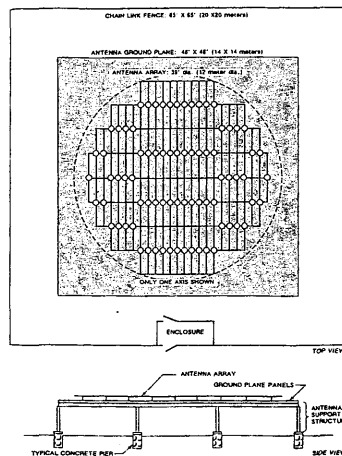


図3.5 ウィンドプロファイラーのアンテナ模式図 (Tycho Manual)。上段が平面図、下段が側面図である。

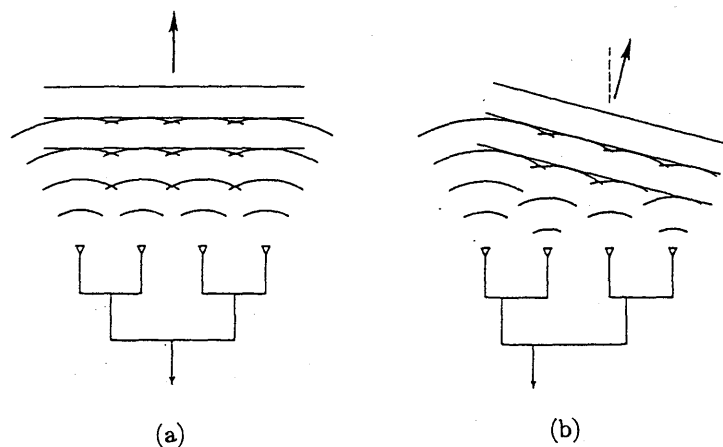


図 3.6 アレーアンテナにより傾いた方向に電波ビームが発射される様子 (Van de Kamp, 1988)。鉛直方向にビームを送信する場合(a)および鉛直から傾いた方向に送信する場合(b)を模式的に示してある。

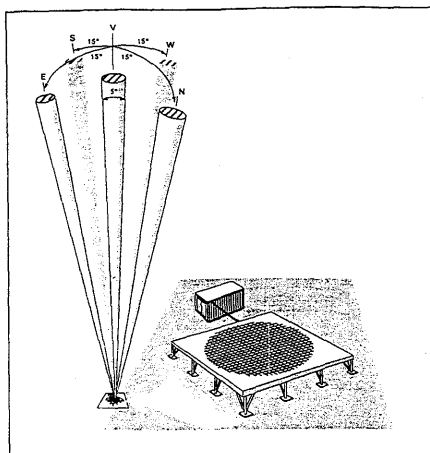


図 3.7 ウィンドプロファイラーが3方向に電波を発射する様子の模式図 (Tycho Manual)。

1988) にフェイズドアレーアンテナで送信ビームの方向を変える様子を模式的に示してある。気象研究所ウィンドプロファイラーのメインローブの方向は、鉛直、仰角75度で北東(51度)および北西(321度)方向に発射している。3方向に送信されるビームを模式的に描いたのが図3.7である。アンテナ素子の数は144本あるが、そのうち72本ずつを用いて東および北方向のビームを発射している。

観測可能な最大/最低高度や精度はアンテナの特性にも関係している。3 dBダウンのビーム幅は4.1度と気象研究所の5 cm ドップラーレーダーの1.0度に比べて大きい。アンテナを大きくすれば観測可能高度やビーム幅を改善できるがコスト等の制限がある。また、サイドローブが大きいとグラウンドクラッターの影響を受け易くなる。本システムではサイドローブのレベルは天頂か

ら45度までは-20 dB, 天頂角 45 度から 85 度までは-25 dB, 85 度以上は-40 dB 以上の仕様を満たすように作ってある。

### 3.5 プロセッサ

I, Q 信号はReal Time Processor (RTP) に送られる。RTP は VME バスを持つ演算モジュールでシステムコントロール部およびデータ処理部から成り立っている。システムコントロール部では送受信パルスの切り換え等の時間制御やデータサンプリングの時間制御 (timing) そしてシステムのモニターを行う。またデータ処理部では受信信号からノイズやグラウンドクラッターを除去し, さらに時間平均してフーリエ変換処理によりスペクトルを計算している。またスペクトルの 0 次モーメント (受信パワー), 1 次モーメント (平均ドップラー速度) そして 2 次モーメント (スペクトル幅) の 3 つのモーメントの計算と多くの処理を受け持っている。

RTP は中央処理装置 (CPU), Copmlex-Channnel Processor (CCP), タイマー (SST: System Synchronizer and Timer), ROM (EPROM: Erasable PROM), RAM, 入出力ボード (ISIO: Intelligent Serial Input/Output board) 等から成り立っている (図3.8)。受信機からの I および Q 信号は CCP に入る。この CCP は, 12 ビット A/D 変換とテキサスインスツルメンツ製 TMS320 C25 のデジタルシグナルプロセッサ (DSP) というプログラム可能な数値演算専用の LSI を持っている。I および Q 信号はデジタル信号に変換された後, DSP により時間領域での積分 (平均), DC 成分の算定, ウィンドウ処理, 高速フーリエ変換, パワースペクトラムの計算および周波数領域での積分を行う。この様な処理の後, データは CPU に送られる。CPU はモトローラ 68020 プロセッサ (16.67MHz) で浮動小数点コプロセッサ 68881, 512 KB ノーウェイトスタティック RAM, 1 MB の DRAM, ROM, リアルタイムクロック等を備えている。CCP からのデータ

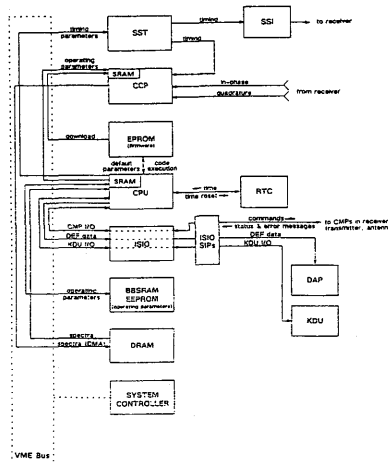


図 3.8 リアルタイムプロセッサの構成図 (Tycho Manual)。

はここでグラウンドクラッターやノイズの除去そしてドップラースペクトルの周波数に関する0, 1, 2次モーメントの計算を行う。このような処理を行うプログラムはワークステーション上でC-言語のクロスコンパイラにより作られEPROMに格納されている。CPUからの出力(3つのビーム方向のradial速度, ドップラースペクトル等)はISIOを通してVT330グラフィック端末(KDU:Keyboard Display Unit)や次節で述べるデータ処理装置にData Exchange Format (DEF)の形式で送られる。

なお、このCPUではウィンドプロファイラーのタスクスケジューラーとして様々な制御も行っている。送信パルスに関する制御はSSTを通じて行われる。この制御のためのSSTパラメータにはパルス幅(PW), パルス繰り返し周波数(PRP), 観測高度数(NUM)等がある。その他測定や処理に関する様々なシステムパラメータはKDUにより設定できる。

### 3.6 データ処理装置 (DAP: Data Analysis Processor)

プロセッサで計算したモーメントデータはモデムを介して研究所本館内のデータ処理装置にバイナリ形式(DEF:Data Exchange Format)で送られる。データ処理装置は送られてきたデータの品質チェック等を行い最終データである水平および鉛直風を計算しプリンター, 磁気テープやモニターに出力する(図3.9)。データ処理装置は中央処理装置にマイクロVAX II(メインメモリ16MB)のワークステーション, ハードディスクは442MB, その他磁気テープデッキ, レーザープリンタ等から構成されている。このデータ処理装置で走るソフトウェアをプロファイラーデータハンドラー(PDH:Profiler Data Handler)と呼んでいる。

リアルタイムプロセッサがデータ処理装置にログインしてデータを送るとデータ処理装置はInLand, DePack, VelCon, LapConと呼ばれる処理を行っていく(図3.10)。データ処理装置は

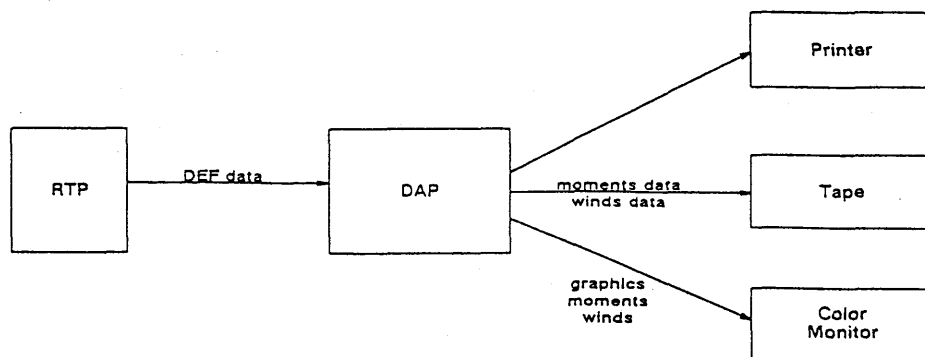


図3.9 データフローの概要 (Tycho Manual)。



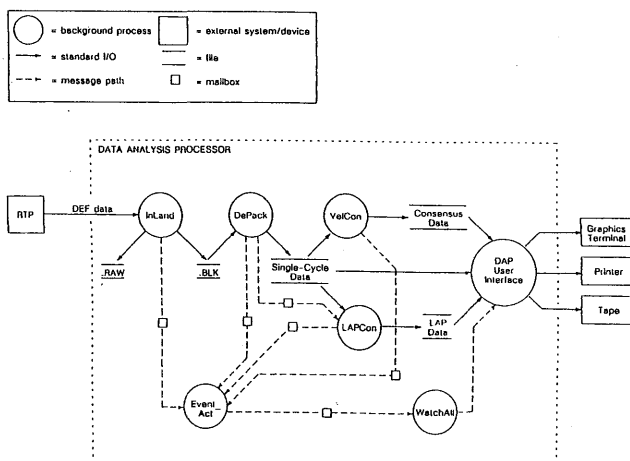


図 3.10 データ処理装置におけるデータ処理の流れ図 (Tycho Manual)。

まず、送られてきたままのデータのファイルを作ると共にDAL (Data Acquisition Library) と呼ばれる形式に変換したブロックファイルを作る。この処理過程を“INLAND”と呼んでいる。ウィンドプロファイラーは高高度および低高度モードで各3方向のビームによる観測で1回のデータ(サイクル)を得ているが、ここまでのファイルはこのサイクルには関係なく作られている。そこで、次に“INLAND”で作った元のファイルをDAL形式に変換し、観測の1サイクルのファイルを作成する(ファイル拡張子名:.NEW)。このファイルができた時点で“INLAND”で作られたファイルは削除される。この過程を“DePack”と呼んでいる。このDAL形式の1サイクルのファイルが今後のデータ処理に用いられる。まず、データの品質がチェックされる(“VelCon”)。1サイクルのファイルのradial速度の高度分布データにより不良データがチェックされる。観測が進みこのデータが蓄積されると時間軸におけるコンセンサス平均により品質管理が行われ、ファイルに出力される(ファイル拡張子名:.PRO)。こうしてできたファイルからさらに適当な時間での平均を求めるのが“LapCon”と呼ばれる処理過程で、ファイル拡張子名“.LAP”のついたファイルが作成される。1日、1週間、1月単位でできるこれらのファイルの容量を表3.2に示す。これらのデータは光磁気ディスクに保存されている。

上記のファイル作成後、さらに0次、1次及び2次モーメントデータのコンセンサス平均による品質管理(第4章)、視線速度から水平風向、風速への変換その他データ保存や種々のグラフィック表示等の観測データの最終処理を行っている。

データの種類	1日		1週間		1ヵ月	
	ファイル数	ブロック	ファイル数	ブロック	ファイル数	ブロック
元のデータ (INLAND)	1	12	1	12	1	12
2次データ (INLAND)	1	69	1	69	1	69
1サイクル データ (DePack)	24	19080	168	133560	720	572400
コンセンサス 平均データ (VelCon)	24	3312	168	23184	720	99360
長期平均 データ (LapCon)	24	69 x n	168	483 x n	720	14490 x n

表3.2 データ処理により作成されるファイル容量。1ブロックは256バイト。nは1日当たりの平均する個数。