

## 第1章 はじめに

近年の技術の発展により、多くの気象要素のリモートセンシングができるようになってきた。特に風向風速に関しては、電波を用いて高度分布を測定するウィンドプロファイラーと呼ばれる装置が開発され、多くの国で用いられている (Rottger, 1990, Balsley *et al.*, 1991, May, 1991)。この装置は、地上からUHF帯 (300~3000MHz) やVHF帯 (30~300MHz) の電波を発射して、大気中の乱流に伴う屈折率の乱れにより散乱してきた電波を受信する。乱流が風と共に移動している場合、散乱波の周波数は風速に応じたドップラーシフト分だけ送信周波数から偏移している。このシフトした周波数を測定することにより風速が推定できる。ウィンドプロファイラーは、米国の空港や最近日本の関西空港に設置されたドップラーレーダーと原理的には類似の装置だが、用いる電波の波長および風ベクトルを算出する方法が異なっている。ドップラーレーダー (小平と立平, 1972) では5 cm程度の波長を用いて雨滴等の粒子から反射された電波を観測するのに対し、ウィンドプロファイラーでは数十cmから数mと長い波長の電波を用いて大気中の乱流等により引き起こされる屈折率の乱れから散乱された電波を観測する。比較的長い波長を用いたウィンドプロファイラーは、晴天時および降水時共に風向風速の観測ができる。ドップラー効果を用いて水平風を算出する方法には、パラボラアンテナを方位角方向にスキャンする Velocity azimuth display 法 (VAD) (Larsen *et al.*, 1991) や3つの方向のみに電波のビームを発射しその視線速度からベクトル演算により求める方法がある。その他、超高層を観測するレーダーで用いられている Spaces Antenna drift (SAD) (Balsley and Gage, 1982, Larsen and Rottger, 1989) 法や干渉計法がある。空港のドップラーレーダーは前者、ウィンドプロファイラーは2番目のドップラーシフトを直接測定することにより風向風速を観測している。

晴天大気を測定対象としたレーダーは、1970年代に多く建設された (Gage and Balsley, 1978, Chadwick and Gossard, 1983, 加藤他, 1982)。これらのレーダーは約50~3000MHzの周波数が用いられており、その周波数によりメリット、デメリットがある (Balsley and Gage, 1982)。図1.1に用いる周波数と関連する要素をまとめてある (Balsley and Gage, 1982)。棒の黒い部分が左に示した要素が当てはまることを示している。例えば降水による散乱あるいは減衰は、数十cm以上の波長では小さいが、一方高度分解能は長い波長では悪くなることが示されている。このように周波数の選択により、大気からの反射信号強度や雑音が大きく変化する。現在までに各国で開発、研究されているウィンドプロファイラーの周波数を大きく分類すると、50, 400および1300MHz (あるいは900MHz) 帯に分けられる (May, 1991)。これらの周波数は波長に換算すると約6 m, 75cmおよび23cm (33cm) で波長が短いほど雨滴等による減衰が大きくなるため強い降

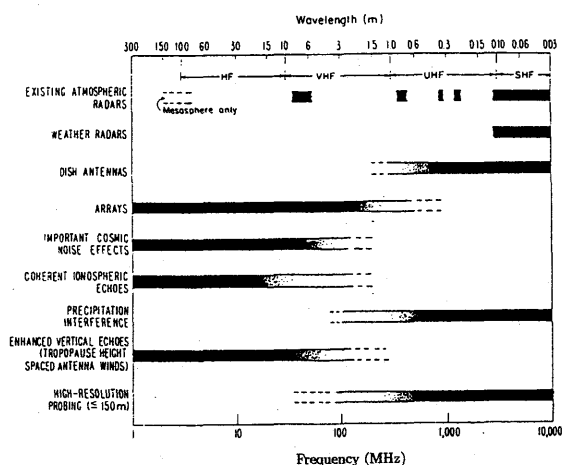


図1.1 プロファイラーに関連する要素と電波送信波長の関係 (Balsley and Gage, 1982)。バーの黒い部分が適当あるいは効果のある周波数域を表している。

雨時には観測高度が制限される。また、観測可能な最大風速は波長と共に大きくなるが、一方速度分解能は悪くなるなどレーダーの性能に密接に関係している。周波数の違いにより観測できる高度は、設計条件および乱流特性から2～数十km (50 MHz), 0.5～16 km (400 MHz), 0.1～数km (1300, 900 MHz) と異なってくる。

50 MHz帯のレーダーとしては、米国をはじめドイツ、台湾、オーストラリア、日本等が所持している。この種のレーダーは、主な対象領域が対流圏上層、成層圏および中間圏を対象としている場合MST (Mesosphere, Stratosphere and Troposphere) レーダー (Ecklund *et al.*, 1979), 対流圏、成層圏を対象とする場合はST (Stratosphere and Troposphere) レーダーとも呼ばれている。また、中層大気と300 kmまでの超高層大気を対象とする京都大学のレーダーはMU (Middle-and Upper-atmosphere) レーダーと呼ばれている (加藤他, 1982)。400 MHz帯レーダーは、対流圏から成層圏下層の観測に用いるものである。1300 MHz帯 (900 MHz帯) レーダーは対流圏低層を対象とし、特に境界層レーダーと呼ばれている (Ecklund *et al.*, 1988, 増田他 1992)。これらの3つの周波数帯のレーダーによる同時観測が大気放射観測計画 (ARM: Atmospheric Radiation Measurement) の一環として1991年に行われている。この時に3つの周波数帯のウィンドプロファイラーにより観測可能な高度を調べた結果を図1.2 (Martner *et al.*, 1993) に示す。Low mode (低高度モード) およびHigh mode (高高度モード) は、後述するが発射する電波のパルス幅を変えて観測できる高度を切り換えるものである。404 MHzの高高度モードでは16 kmでも90%の良好なデータが取れていることが分かる。なお、50 MHzでやや悪いのはこの機器の感度が他に比べて低いためである。

400 MHzおよび1300 MHz帯のウィンドプロファイラーは対流圏および成層圏の風向風速を優れた高度、時間分解能で測定できる。このため予報や気象の研究に有益な情報をもたらすと考え

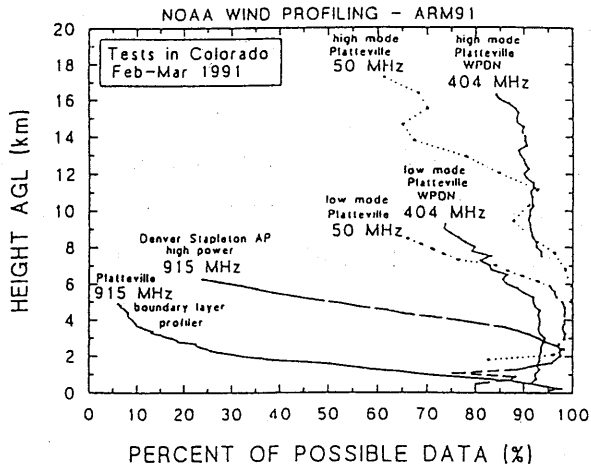


図 1.2 米国で行われた種々の周波数のプロファイラーによる観測高度とデータ取得率 (Martner *et al.*, 1993)。

られ (Larsen and Rottger, 1982, Chadwick and Gossard, 1983, Hocking, 1983, Balsley *et al.*, 1991), 1980年代には米国コロラド州にウィンドプロファイラーのネットワークが作られている (Strauch *et al.*, 1984)。図 1.3 に示すように, このネットワークは, その後NWS (National Weather Service) によりさらに拡張され準オペレーショナルに使用されている (Chadwick, 1986, Weber *et al.*, 1990)。

1988年に気象研究所は 404.37 MHzの電波を用いたウィンドプロファイラー (口絵) を設置し, 観測データの特性など様々な観点から研究を行ってきた (上田, 1988, 永井, 上田, 1988, 坂井他, 1992, 坂井, 葦澤, 1993, 坂井, 1994)。本報告ではこのウィンドプロファイラーの概要, 原理および今までに行ってきた観測, データ解析等について述べる。

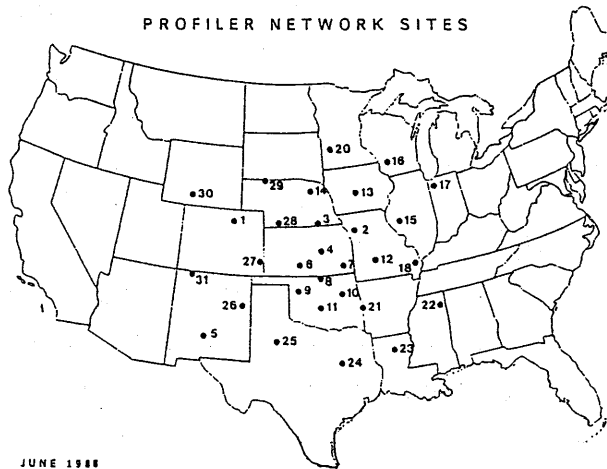


図 1.3 米国で展開されているウィンドプロファイラー網 (Van de Kamp, 1988)。中西部を中心に 30カ所設置されている。