示す.地上気温が最大となる午後2時前後,擾乱がこ の観測の最低高度である5km位に現れ,対流圏界面 まで達していることがわかる.これは,太陽加熱に起 因する積雲対流によるものと考えられる.

積雲対流は、中緯度だけでなく、面積的に広くハド レー循環のエネルギー源でもある熱帯域においても、 重要な熱輸送、運動量輸送媒体である.したがって、 このような積雲対流の MST レーダーによる高い時間 高度分解能を持つ鉛直風も含んだ風の観測の役割は、 今後ますます大きくなるだろうと予想される.

積雲対流の発生には、境界層でのサーマルやプ リュームなどと熱対流によって空気塊が自由大気に持 ちあげられる効果が必要と考えられている。ところが、 市販のウィンドプロファイラーのような受信と送信を 同じアンテナで行うモノスタティックな MST レー ダーは、PIN ダイオード特性により送受切替えに時間 がかかり、例えば、MU レーダーでは境界層を含む高 度 2 km 以下は測定不能である。紹介のあった境界層 レーダーは高い周波数を用い、システムを小型化する ことで、400 m から 5 km 位までの境界層と自由大気 のどちらも含む高度領域の観測が可能となった。これ によって、サーマル・プリューム等の渦運動や、山谷 風等の局所循環に対する高分解能・高精度な新しいタ イプの観測を行なうことができる。前述の積雲対流の



 第1図 1987年7月6日~11日における, MU
 レーダーで観測されたwのパワー(詳細 は本文を参照)の時間高度断面図.等値 線間隔は0.1 m²s⁻² 点線は0.05 m²s⁻²の
 等値線.黒丸は潮岬のラジオゾンデ温度 データから求めた対流圏界面高度 (Sato, 1992).

発生メカニズムに関しても,新たなる知見が得られて いる.

参考文献

Sato, K., 1992: Vertical wind disturbances in the afternoon of mid-summer revealed by the MU radar. *Geophys. Res. Let.*, 19, 1943-1946.

5012 (メソスケール擾乱;ドップラレーダー)

4. ドップラーレーダーによるメソスケール擾乱の把握*

大 野 久 雄**

1. はじめに

レーダーは、アンテナからビーム状に電波を発射し、 目標物で反射された電波を受信して、その信号を処理 することにより、目標物に関する情報を得る装置であ る.気象では降水粒子を目標物にすることが多い.こ

- Doppler radar utilization for revealing mesoscale disturbances.
- ** Hisao Ohno 気象研究所 気象衛星・観測システム研 究部.

の場合,反射波の強さから降水の強さを,反射波の周 波数変化からドップラー速度として降水粒子の動きを もとめることができる.通常の気象レーダーは前者の 機能のみを持ち,ドップラーレーダーは両者の機能を 併せ持つ(第1図).

降水粒子は風に流される.したがって,その動きか ら風に関する情報が得られ,これをとおして降水のあ る場所での擾乱の把握が可能になる.晴天下の大気乱 流渦や昆虫などの小生物群も目標物になる.その場合 反射波は晴天エコーとよばれ,やはり擾乱の把握に役 立つ.

20

2. メソ擾乱の把握に適するドップラーレーダー

一般に,空間スケールの小さい擾乱は時間スケール も小さいため(第1表),その把握には従来の観測手段 だけでは不十分なことが多い.擾乱の時間・空間スケー ルに見合った観測システムが求められる.

ドップラーレーダーの典型的な時間分解能は「分」, 空間分解能は「数百メートル」のオーダーである.前 者はアンテナ回転数に依存し,後者はアンテナからの 距離に依存する.ビーム幅が1°の場合,50 km 先での ビームの広がりは 900 m になる(第1図③).このこ とからドップラーレーダーは,第1表に示されるとお り,メソ β (200 km~20 km),メソ γ (20 km~2 km) およびミクロ α (2 km~200 m) スケール擾乱内の気 流を把握するのに適していることがわかる.

3.メソ擾乱の検出法

ドップラー速度は目標物の速度のビーム方向(視線 方向)の成分であるから、3次元の風ベクトルを求め る場合には複数台のドップラーレーダーが必要になる (厳密に求めるには3台,連続の式を使う場合は2台を 用いる).

1台のドップラーレーダーを利用する際には、ドッ プラー速度分布をビーム方向やアンテナ回転方向に空 間微分するなどして、速度変化の大きい領域を求め、 その特徴パターン(回転・発散など)を解析すること で擾乱を特定することが多い.その際、レーダー反射 強度やアメダス観測値の併用が有効である.

以下に、1台の気象研究所ドップラーレーダーで観 測したメソスケール擾乱のなかから、メソβスケール として「寒冷前線の微細構造」を、メソγスケールと して、「ダウンバーストと竜巻低気圧」を紹介する.

4. 寒冷前線の微細構造

総観スケールで見た寒冷前線が1989年1月20日,中 部山岳から関東平野を南東進した.第2図の黒い帯は, このときドップラーレーダーが10分毎に捕えた,ドッ プラー速度の急変域(ここでは6m/s/km以上)であ る。その幅は数 km と細い.

この急変域は19時55分,長さ約40kmの帯として, まず千葉県西部に現れる.その後,長さを約80kmに までのばしながら南東に進み,21時過ぎに房総半島を ぬけた.移動速度は10分毎の位置からおよそ40km/h



第1図 気象研究所屋上のドップラーレー ダー. ①レドーム(地上高36m).この中に アンテナがある. ②直径4mのアンテナ. ビーム幅1,パルス幅0.5µs.ドップラー速 度は±64ms⁻¹まで測定できる.アンテナ 回転数は毎分1~4回転. ③空間分解能.
④観測室.左に強度信号処理装置(反射波の強さを求める)とドップラー信号処理装置(反射波の周波数変化を求める)が見える.
⑤表示例.左はドップラー速度分布. 右はその空間微分で,前線など風速変化の 大きい場所を特定する.

と計算される.

この帯は強いレーダー反射強度を伴っており、東京 ヘリポートや千葉測候所ではこの帯の通過時に、約15 分間続く 30 mm/h の雨と5°Cの気温降下を記録し た.これがドップラーレーダーで捕えた寒冷前線の微 細構造(局地的な姿)である. 1992 年度日本気象学会春季大会シンポジウム「新しい観測システム」の報告

	擾	乱	手段
	1日 1時	間 15	1日 1時間 1分
メリ a スケール 200km			b-9177, 22.
200xm 夜間下層ジェッ メリタ バイン、内部波 スカール スカー、海風前線 20km 局地寒 メリア スカー、海風前線 20km シー、 メリア スカール	夜間下層ジェット、スコ- ルライン、内部波、雲クラ スター、海風前線、 局地寒冷前線		気象台 測候所
	雷雨,晴天乱	内部重力波、 礼流、都市効果 が ウンバースト 竜巻低気圧	GMS
	竜 巻 背の高い対流 短い重力波		「「「「」」」をいた人 ドップラー レーダー

第1表 メソスケール擾乱の時間・空間スケールと観測システムの時間・空間分解能. 擾乱部(左側)は Orlanski (1975)をもとにした.



第2図 寒冷前線の微細構造(1989年1月20日 夕).矢印はアメダスで測定した風。陰影 域はアメダスの風が3m/s以上で北分 を持つ領域.

5. ダウンバースト

ダウンバーストは、『地上付近で破壊的な風の吹き出 しを起こす強い下降気流のこと』(Fujita 1985)で、米 国では多数の航空機事故を引き起こしてきた (Proctor 1988)(第3図).わが国でも発達した積乱雲の下 で発生しており、最近では、1992年9月4日に水戸市 で数十本の大木を倒したり収穫目前の水稲に被害を与 えた事例や1991年6月27日に岡山市で電柱18本を倒し た事例、1990年7月19日に埼玉県妻沼町で家屋を倒壊



第3図 航空機事故を引き起こすダウンバースト (図は米国クリマトロンニクス社提供)

させた事例等がある.

第4図はドップラーレーダーで捕えたダウンバース ト(厳密には、ダウンバーストにともなう風の吹き出 し)である.このダウンバーストは1990年7月19日17 時50分頃に霞ケ浦北方で発生した.+域は、レーダーか ら見て遠ざかる速度が10m/s以上(黒ぬり部では、 16m/s以上).-域は近づく速度が6m/s以上(黒ぬ り部では、10m/s以上)である.このとき航空自衛隊 百里基地では、最大瞬間風速35m/sに達する北北西 の突風を記録した.

強い+域と-域とがレーダーのビームの方向に並ぶ パターンは、*印から風が放射状に吹き出しているこ とを示唆する.風が放射状に吹き出していても、アン テナと直角方向の風は見かけ上ゼロとなるので、1台 のドップラーレーダーで見るドップラー速度のパター ンは放射状ではなく、+域と-域とがビームの方向に 並ぶ形となる.



第4図 酸ゲ痛の北方で完全したクランバー スト (1990年7月9日夕).+域は レーダーから見て遠ざかる風速が 10 m/s以上(黒ぬり部では,16 m/s 以上),−域は近づく風速が6 m/s 以上(黒ぬり部では,10 m/s以上) の領域.



第6図 仰角1.5で見たドップラー速度と反射強度、実線はドップラー速度の等値線(4m/s毎)、レーダービームに直交する極大値(+36m/s:遠ざかる風)と極小値(-4m/s:近づく風)が「2つ目玉」状に並ぶのが回転パターン、斜線は反射強度30dBZ(降水強度3mm/h)以上の領域、

6. 竜巻低気圧

竜巻の直径は,数十mから 100 m と小さいため, ドップラーレーダーで直接観測することはむずかし い.しかし,竜巻の親雲も数 km から十数 km のス ケールで,竜巻よりは小さい速度で回転(竜巻低気圧)



第5図 竜巻低気圧の観測法.ドップラーレー ダーは竜巻の親雲の回転パターンを検出 する.



していることが多く (JDOP Staff, 1979), これはドッ プラーレーダーで観測が可能である (第5図).

1990年9月19日に栃木県壬生町で大きな被害を出した竜巻について鈴木ら(1991)は、親雲中に回転直径4km程度、渦度 $0.02s^{-1}$ の竜巻低気圧を検出した.風が回転していても、ビームと直角方向の風は見かけ上ゼロとなるため、ドップラーレーダーで見るパターンは、回転の中心をはさんで、強風の+域と一域がビームと直交して並ぶ形となる(第6図).

中心の移動経路が第7図である. 左経路が壬生町の 竜巻と対応する. この図から, 竜巻低気圧は竜巻発生 の約1時間前から追跡できたことがわかる. 下層での 渦度は,時間とともに強くなり, 竜巻発生時頃に最大 値を記録した. 竜巻発生の1時間前から追跡が可能で あったことと, 親雲の回転が竜巻発生時頃に下層で大 きくなったことは, 親雲の経路と渦度の変化を追跡す ることにより, 竜巻発生の危険地帯をある程度前もっ て特定できる可能性を示したものである. 1992 年度日本気象学会春季大会シンポジウム「新しい観測システム」の報告



第8図 小型計算機をベースとしたメソ擾乱自動探知表示システム(開発中) の機能。

7.おわりに

『メソスケール擾乱を的確に探知するためのドップ ラーレーダーシステム』をめざして気象研究所気象衛 星・観測システム研究部では、「メソスケール擾乱の解 析」、「ドップラーレーダー本体機能の強化」、「解析・ 表示システムの開発」を三位一体として推進してきた.

その総合成果の一つとして、第8図の機能をもつ、 小型計算機をベースにした、ユーザーフレンドリーな 「メソ擾乱自動探知・表示装置」が近く稼働する予定で ある.メソ擾乱の立体構造を解析する上で大きな力と なるばかりでなく、ドップラーレーダーの現業利用に 直接つながるものとして我々は期待している.

参考文献

- Fujita, T. T., 1985 : THE DOWNBURST, SMPR 210, The University of Chicago, pp 9 and pp 61.
- JDOP Staff, 1979 : Final Report of the Joint Doppler Operational Project. NOAA Tech. Memo. ERL NSSL-86, National Severe Storm Laboratory, Norman, Oklahoma, 84 pp.
- Orlanski, J., 1975 : A rational subdivision of scales for atmosphric process. Bull. Amer. Met. Soc., 56, 527 -530.
- Proctor, F. H., 1988 : Numerical simulation of an isolated microburst. Part I : Dynamics and structure. J. Atmos. Sci., 45, 3137-3160.
- 鈴木 修,大野久雄,1991:竜巻とメソサイクロン.平 成3年度気象研究所研究発表会誌,1-10.

コメント

上田 博(北大理)

大野さんが話されたように、ドップラーレーダーに よるメソ擾乱の自動検出(探知)及び表示方法の開発 は重要だと思います.

これまで、北大理学部のドップラーレーダーでも、 1988年7月の九州と1991年7月の信楽でのガストフロ ントの観測や1988年9月の札幌周辺での竜巻とマイク ロバーストの観測例などがあり、日本でもドップラー レーダーを用いたメソ擾乱の自動検出方法の開発を行 う上で必要なデータは揃いつつあると考えられます。

ドップラーレーダーによるドップラー速度の観測で はメソ擾乱発生直後の検出が可能ですが、メソ擾乱発 生直前の予測を行うためには、気流系に加えて、降水 粒子の形状や降水強度の常時観測が必要です。特にマ イクロバーストの発生には雪や霰によるローディング も重要だと考えられているので、直交二偏波レーダー 等による雲内の降水粒子の識別を行うことが不可欠に なると考えられます。

そこで,ごく近い将来にドップラー機能を含むマル チパラメーターレーダーの導入が求められます.

23