

第7章 ドップラーレーダとチャフによる気流の観測*

7.1 はじめに

この章ではドップラーレーダとチャフを利用して晴天の気流を観測する方法に関して述べる。これは応用気象研究部の特定研究「大気中に放出された放射性物質拡散の即時予測システム開発に関する研究」の一環として、1983～1985年にわたって行われた観測に基くものである。ただしここでは主としてチャフによる観測の原理的方法について述べ、実際の観測と観測結果の解析は別に出す予定である上記特定研究の技術報告で述べることにする。

この観測の目的は、大気中に放出された放射性物質や大気汚染質の大気中での拡散の様子を調べる為の基礎として、ある空気塊の移流・拡散を時間を追って追跡することである。従って、大気境界層内が主な観測対象領域となる。

観測の方法としては、目標となる空気塊を追跡するために、先ずレーダ電波を反射する物体(チャフ)を散布し、これを2台のドップラーレーダにより観測する(図7.1)。

2台のドップラーレーダによる観測原理や方法は第1、2章とおおむね同じであるが、上述の様にレーダで見るのが雨滴ではなくてチャフであることや対象となる領域の高さが雨雲等に比べて低いことなどの条件があるため第1、2章のそれとは異なる点がいくつかある。以下の各項でこの観測方法の特徴を述べる。

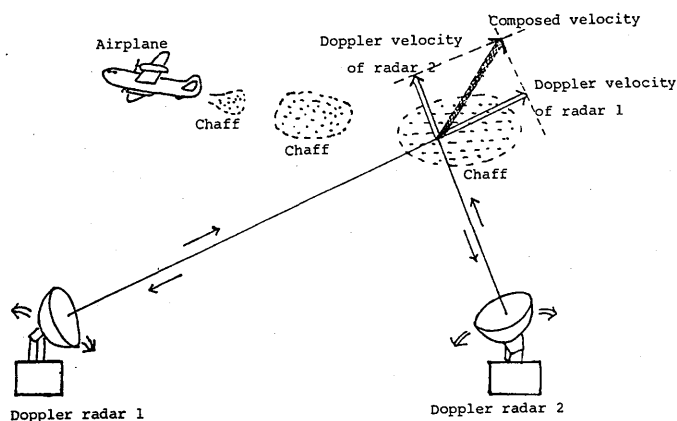


図7.1 飛行機によるチャフの散布及びドップラーレーダによるチャフの観測の模式図。

* 栗田 進・里村雄彦・吉川友章：応用気象研究部、松浦和夫：気象衛星研究部、柳沢善次・石原正仁：台風研究部

7.2 チャフ

チャフはレーダ電波を反射する物体でその種類は主にアルミ箔(AL)のものと、グラスファイバーに金属コーティングしたもの(GL)がある。

今回の観測では主に三菱電機製のグラスファイバーのものを使用した。

参考のためにチャフの定格を表7.1に示す。表のようにアルミ箔もグラスファイバーもレーダの各波長帯毎に用意されている。一箱当りの有効反射断面積はグラスファイバーの方が5~10倍大きい。落下速度はカタログではALで500 ft/分(250 cm/sec)とGLで150 ft/分(75 cm/sec)であるが、5 cm 波帯用で実際に計った落下速度はALで70 cm/sec、GLで20 cm/sec位であった。5 cm 波帯用GLチャフによる室内での詳しい落下速度の測定結果を図7.2に示す。図のような広い速度分布をもっているが、約20 cm/secあたりにピークがある。一本のチャフの長さは約2.5 cmで非常に細く、重さは約50 μ g。23×62×241 mm³の箱に約150 gほど入っている。落下速度の分布は、チャフの形のちょっとしたゆがみと落下形態の差によると思われる。落下形態は次の3種位に分類できるようである。

- ① 安定して横になってゆっくり落下していくもの。
- ② ゆがんでいるために、らせん状に回転したり不安定になって落下していくもの。
- ③ 縦になってほぼ真直ぐに落下していくもの。ただし落下距離が充分あれば①や②に移行して

表 7. 1 チャフの定格表。ALが付いているのがアルミ箔、GLが付いているのがグラスファイバーに金属コーティングしたもの

形 名	BAND	1ユニット箱の有効反射断面積(m ²)
NRR-1/AL	L	15
NRR-2/AL	S	15
NRR-3/AL	X	5
NRR-4/AL	c	10
NRR-5/AL	Ku	5
NRR-1/GL	L	150
NRR-2/GL	S	75
NRR-3/GL	X	25
NRR-4/GL	C	50
NRR-5/GL	Ku	11
NRR-5/GL-01	Ku 16.5GHz	25-250
NRR-U1/AL	UHF	15

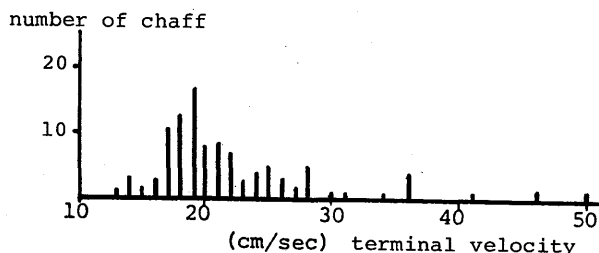


図 7.2 5 cm 波帯用 GL チャフの落下速度分布

いくものもあると思われる。

アルミ箔のチャフは 5 cm 波帯用が長さが 5 cm 位で幅は 1 mm 位である。

ドップラーレーダで観測した結果を解析する上で、落下速度は重要な意味をもっている。研究の目的からはできるだけ落下速度が小さい方が望ましい。

チャフの落下速度が水滴や雪片に比べてどの程度であるかを調べてみる。Mason (1971) による水滴の落下速度と比較すると、グラスファイバーでは直径 0.09 mm の水滴、アルミ箔は直径 0.2 mm の水滴に対応する。言いかえればグラスファイバーは霧雨に相当し雨滴 (約 1 m/sec 以上) よりだいぶ遅く、アルミ箔のそれは霧雨と雨滴の境位に相当する。又雪と比較すると、雪片の落下速度は形状により複雑であるが Pruppacher and Klett (1978) に基づくと、グラスファイバーは最も遅い方、アルミ箔は速い方に属する落下速度に対応する。

落下速度から滞留時間を見積ると、1,000 m の高度から散布すると、約 1 時間 23 分で地上に落下してしまうことになる。しかし実際には、活発な対流活動により境界層内に滞留しており、移流により遠ざかるまで 2 時間以上観測することができる。

7.3 レーダの設定

前にも述べた様に、ドップラーレーダによる観測原理や方法は降水の観測と同様であるが、対象が異なる為にいくつかの注意すべき点がある。対象領域の高度が低いことと、境界層の構造が複雑であることにより、観測にはできるだけ空間分解能を良くすること、時間変化を細かく追うこと等が要求される。そこで距離と空間分解能の関係を調べる為にレーダからの距離と高度及びレーダアンテナの仰角の関係を図 7.3 に示す。ただし距離が近いので、地球の曲率や屈折率の変化は考えていない。20 km の距離では約 0.7° の仰角で 250 m の高度となる。アンテナのビーム幅は 1.4° であるが、チャフの反射強度が弱いことを考えれば実質的にはもっと狭いと思われる。しかしあまり遠くなると分解能が悪くなってしまう。一方視線方向には 250 m の分解能がある。

レーダの観測範囲の設定も重要である。ドップラー観測時には全方位を観測すると 1 仰角当り 1 分位かかるので、多数の仰角で観測すると時間がかかりすぎる。そこでセクター走査を利用して必要な部分のみを観測する。60° の走査幅にして、11 仰角で観測すると、1 回の観測が 3 分半位で可能

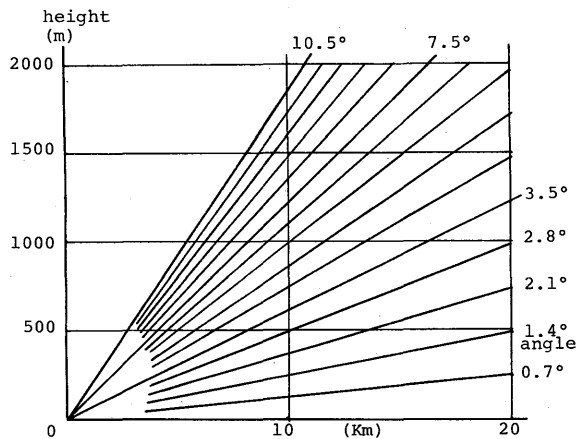


図 7.3 近距離における各仰角ごとのビーム高度を示す。距離とアンテナ仰角はビーム幅 (1.4°) の半分毎に示しているので距離と鉛直分解の関係が分る。

である。

気象研の 5 cm 波レーダは高い位置にあり低い所が見えるが、そのために低仰角では地上物体や地形などからの反射エコー（グラウンドクラッター）が多く現れる。このグラウンドクラッターを地図と見比べると、山によるものの他に高圧送電線用鉄塔によると思われるものが多い。この現象は観測データの大きな問題点であり、解析時における注意深い取り扱いとくふうが必要である。

一方 3 cm 波レーダの設置場所は、できるだけ低い所まで観測できる様に、周囲に障害となる物（建物・樹木等）のない、見晴らしのよい所を選ぶ必要がある。

7.4 チャフの散布と観測

実際の観測は 1983～1985 年に行われ、観測の対象地域としては筑波山及びその南西地域を選んだ。

3 cm 波レーダの設置場所は、千代川村にある筑波サーキットの駐車場を選んだ。

2つのレーダの配置を図 7.4 に示す。この配置では筑波山とその南西地域が 2 台のドップラーレーダによるドップラー速度の合成及び空間分解能の両者からみて最適の観測場所になる。

チャフの散布は次の 3 通りを用いた。

- 飛行機よりチャフをほぼ連続的に散布し、広い領域をチャフで満たす。
- 飛行機よりチャフを箱每ごと時間をおいてパフ状に散布する。
- 気象研の鉄塔 (213 m) より散布する。

それぞれの特徴を述べると、a)、b)方式では、飛行機より散布するために、風向・風速・安定度等の気象条件に応じて散布場所や散布高度を適応させられる。しかし観測規模が大がかりになってしまう。一方 c)方式では、散布場所が固定されてしまい、散布高度も高くとれないが実行しやすい。

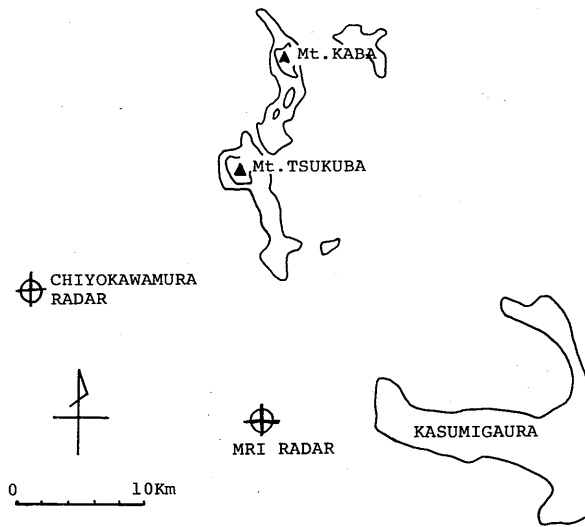


図 7.4 2つのドップラーレーダと筑波山の配置図。

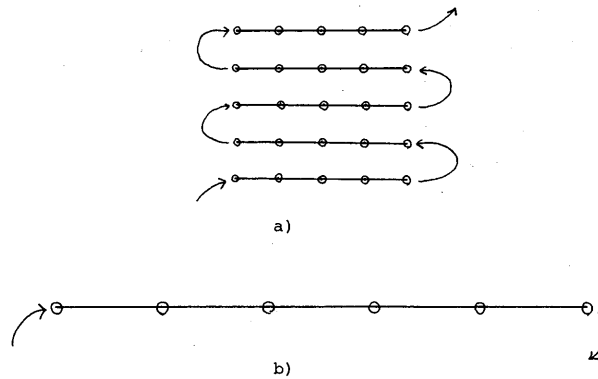


図 7.5 飛行コース（実線）及びチャフ散布点（白丸）。a) 領域全体にチャフが拡がる様に散布して、全体の場の観測をする時に行う。b) 間隔をおいてチャフを散布し、それぞれを追跡する時に行う。

い。又観測の対象となる現象から見ると、それぞれの特徴は、a)方式は風速の三次元的分布が得られ場全体の解析が行えb)方式はそれぞれパフ状に散布されたチャフの移流・拡散を直接解析でき、c)方式ではパフ状及びブルーム状放出の拡散解析が行える事である。

飛行機のコースとチャフの散布点を模式的に図 7.5 に示す。今回の観測では b)方式の散布を主に行った。飛行高度は、同時に行なった気象要素の鉛直プロファイルから求めた安定度や境界層の高さに応じて、800 m から 1,200 m とし、チャフを 5 km 間隔で散布した。

実際の観測例として、口絵写真 7.1～3 に 3 cm 波レーダによるチャフのエコーパターンを示す。口絵写真 7.1 と 7.2 は b)方式の例で、チャフの散布時刻は 12 時 31 分～37 分、口絵写真 7.1 の観測

時刻は12時48分、口絵写真7.2の観測時刻は13時08分である。それぞれ横一線に点々と並んでいるのがチャフのエコーであり、一点がチャフ一箱に対応している。二枚の写真を比較すると、約20分の間に西北西に移動しながら拡散している。一方口絵写真7.3はa)方式の例で、チャフのエコーが約10km四方全体に拡がって分布している。

7.5 あとがき

今回の観測の様な拡散実験の他にも、チャフを利用した研究が行なわれている。通常のレーダ観測では、雨雲内等の水滴や雪片の在る領域のみを観測することになるが、チャフを利用することにより雨雲の周囲の気流を調べることができる。又晴天時の境界層の発達過程の観測や、都市に伴うヒートアイランド等の研究にも利用することができる (Eymard 1984, Kropfli and Kohn 1978)。

参 考 文 献

- Eymard, L. 1984: Radar Analysis of a Tropical Convective Boundary Layer with Shallow Cumulus Cloud. *J. Atmos. Sci.*, 41, 1380-1393.
- Kropfli, R. A. and Kohn, N. M. 1978: Persistent Horizontal Rolls in the Urban Mixed Layer as Revealed by Dual-Doppler Radar. *J. Appl. Meteor.*, 17, 669-676.
- Mason, B. J. 1971: *The physics of clouds*. Clarendon Press Oxford, p. 594.
- Pruppacher, H. R. and Klett, J.D. 1978: *Microphysics of clouds and precipitation*. D. Reidel Publishing Company, p. 338.