

## ≡ 質 疑 応 答 ≡

質問は、東京都千代田区大手町 1-3-4, 気象庁内  
日本気象学会「天気」編集委員会宛にどうぞ

問：低層における風のシアが航空機の着陸にとって重要であると聞きますが、低層シアと運航について易しく説明して下さい（一会員より）。

答：航空機の運航にとって低高度における風のシアはパイロットを悩ます気象現象の一つである。次に概要を説明する。

### 1. 操縦室で体験する低層シア

ある冬の早朝、パイロットの北条氏は東京国際空港へ着陸数分前に空港の気象状況を ATIS (Automatic Terminal Information Service) で聞き、降下を続行した。ATIS によれば、空港は煙霧がかかっているが、風は殆んどなく、おだやかである。“しかし”と北条機長は思う。現在、高度 1,500 m で北西の風 36 ノットであることを機上の慣性航法装置が表示している。北条機長は副操縦士と航空機関士に向い、気温逆転に伴う低層シアがあるかも知れないこと、着陸困難の場合には missed approach procedure により小牧空港へ向うことなどの手順を説明指示した。

北条氏はプロペラ機の操縦経験も長いベテランである。ジェット機は高速である上、推力増加の操作を行ってから実際の推力増加までにプロペラ機より僅かながら余分の時間が必要なので、パイロットは早目に先を予測して計画をたてるよう若い後輩達に日頃教えている。今、機は木更津を経て、地上の誘導電波をうけて 330° の滑走路へ向って正しく進入している。高度 150 m へ降下した時、急に飛行機が沈む感じがして指示対気速度が減少し、グライド・パス（正しい進入勾配線）より下がっていることを計器が示している。“やはりあったか”と思い“自動操縦装置 OFF”“エンジン出力増加”“迎え角増加のための引きし”など協力しつつ行った。飛行機はグライド・パスに戻っていく。次は行過ぎないようにエンジン推力と迎え角を徐々に抑える。飛行機はグライド・パスにのり、やがて無事に目的滑走路へ着陸した。以上は操縦室でみたある日の低層風シアへの対応である。

航空機を空気中で浮かしている揚力は次の式で与えられる。

$$L = \frac{1}{2} C_L \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S$$

ここに、 $\rho$  は空気密度、 $v$  は対気速度、 $S$  は翼面積、

$C_L$  は揚力係数である。

機が降下中、向い風が急に減ると対気速度  $v$  が実質的に急減したことになり、上式より  $L$  が減るので機はグライド・パスより下ってしまう上にエンジン推力も一時的に減少する。これを防ぐために“推力増加”“迎え角増加”等の操作でこの状態に応ずる。シア層より下へ降りてしばらくするとエンジン推力は回復してくるから一旦増加側への操作を実施したエンジンの推力が余り大きくなり過ぎないように早目に抑えることが必要で、予測による対応準備能力で今のところ“自動操縦装置”より人間の方が優れており、“自動操縦装置”は OFF にするのが普通である。例として、第 1 図に減少型シアを挙げたが、増加するシア、横風の増減等により対応の仕方は変る。

### 2. 風のシアの表現と低層シアの発生しやすい場所

飛行機の離着陸を取扱う場合は滑走路を座標軸にとるのが便利である。そして風としては向い風成分と横風成分に分けて考える。飛行機の中において、機と共に移動する操縦士の受ける風はどうだろうか。それは“時間による風の場の変化”と“飛行機がある速度で移動してゆくことによる位置の変化による風の差”の双方が合わさったものだから全微分型のものである。

滑走路延長線を  $y$  軸にとり、飛行機は正しく  $y$  軸上を進んでいれば  $x$  方向の速度は零であり、機のうける風  $W$  の変化率は、

$$\frac{d\vec{W}}{dt} = \frac{\partial \vec{W}}{\partial t} + v_0 \frac{\partial \vec{W}}{\partial y} + w \frac{\partial \vec{W}}{\partial z}$$

ここに、 $v_0$  は飛行機の対地速度、 $w$  は飛行機の上昇率（降下の際はマイナス）となる。右辺には水平シア、鉛直シアの項が含まれている。

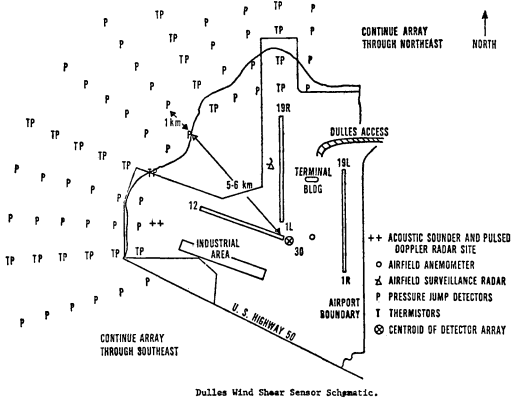
次に低層シアの発生しやすい気象条件について述べる。

#### (1) 積乱雲の付近

積乱雲の付近の下降気流はかなり遠方まで広がってゆ



第 1 図 低層シアのある場合の着陸（模図）。



第2図 ダレス空港における低層風シアを知るための観測網(テスト中)。

くことがあり、この気流と周辺の空気との境目のあたりは低層風シアの存在しやすい場所である。1975年6月24日20時頃、ニューヨークで着陸しようとしていた米国社の飛行機が犠牲となった。原因は藤田哲也博士の解析によると低層風シアを含めた“adverse wind”のためと推定されている。

(2) 前線付近

経験則として前線の両側の気温差 5°C 以上の場合、前線の移動速度が30ノット以上の場合の2つまたは1つの条件が満たされる時に特に注意するという目安がある。

(3) 気温逆転層

寒候期には夜間から早期にかけて放射冷却による気温逆転層が発生して、この逆転層の下では風が弱いが上空では風が強くてシアができる。この種のものの発現頻度は大きい強いものは少ない(盆地などでは大きなシアが考えられる)。

(4) 山岳波に伴う回転気流の付近

(5) 空港周辺の建造物や地形

以上発生しやすい気象条件や地形・場所について、パイロットは訓練や配布資料により習得し、予想しながら飛んでいる。

3. 低層シアの観測

アメリカで現在研究されている観測諸方式を紹介すると――

(1) 音響ドブラー方式

1000サイクル前後の音を上空へ打上げ少し離れた地上で反射波の周波数を測定する。上空の風によるドブラー効果で周波数がズレるのを利用して、高度別の風とシアをコンピューターで計算・表示する。

(2) 襲来してくる雷雨を素早く捉えるため気圧計・風速計を数多く配置する方式

(3) レーザレーダやマイクロ波レーダ方式

これまで、漠然と“低層風シア”という言葉を用いてきたが、シアの大きさは同じでも飛行への影響はシアのある高度、航空機の機種・塔容量、向い風で降りるか追い風で降りるか、により飛行への影響は異なる。目安としては向い風や追風については、高度差 30m について風速差 2.5~5m/sec 程度が運航上報告の対象となりそうである。なお第2図にアメリカ・ダレス空港において低層シアを捉えるために試験的に設備されたものを示してある。如何に低層シアを捉えることが重要であるか、これからも理解できるだろう。

以上のように低層シアについては解決されていない点もあるが、少数例外を除けば飛行機は安全に飛んでいる。その理由は、最初に述べたようにパイロットは低層シアの存在しやすい場所を知っていること、また、対気速度計・昇降計・flight director など多くの計器指示の保護をうけ、気流変化に鋭敏に対応する訓練をうけているうえ、進入着陸の途中で危険になりそうだと判断したら直ちに進入を断念して上空へ戻る用意が出来ているからである。前記ニューヨーク・ケネディ空港では低層風シアのため2時間で9機が missed approach したこともある。この場合には交通機関としての大切な項目の一つである定時性が失われてしまう。低層風シアの研究と対策技術の開発は安全・快適・定時の原則を一層確実な基礎の上に築くための努力の一端と言えよう。

岩下晴彦(日本航空運航安全推進室)