

雲画像による乱気流の予測と テイパリングクラウドの監視

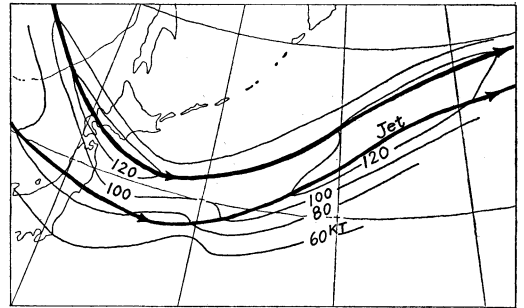
柴田 宣*

1. まえがき

航空機にとっての乱気流は全く予期しないで遭遇する場合とそうでない場合とでは大きな違いがある。あらかじめ乱気流がありそうな空域を飛行する場合にはパイロットは機速を落すか、避けるために飛行高度の変更を求める。乱気流は極めてライフサイクルが小さいのでひとつひとつを予報することは不可能でシグメット情報（主として国際線の運航の用に供する活発な雷電域や強い乱気流などの悪天に関する気象情報）の有効時間も4時間が限度となっている。現在の乱気流予報は天気図解析と航空機観測報告及びその他経験則を主としたポテンシャル予報で、パイロットに対する予報として十分な心構えにはなるが高層観測時刻から6時間も経過したあとの解析結果にならざるを得ない。これにひきかえ、GMS画像は3時間毎の観測だが観測後1時間で雲画像が入手できて雲の形状などから直ちに情報を出せるとすればその効果は大きい。乱気流はトランスパースラインやその他山岳波やテイパリングクラウド (Anderson et al., 1974) など、中小規模じょう乱に伴う悪天の対流雲と密接に関係することが知られている。ここでは航空機観測報告からこれらの雲の形状によって多く乱気流に遭遇している例を紹介するとともに天気図解析と併用しながら視覚で発生域を指摘することとその予報の可能性を考える。

2. ジェット軸に直交するすじ状の絹雲群と乱気流

新東京国際空港を発着する航空機は北便（日本～アンカレッジ～アメリカ）で1日平均50数機にも達し、これら航空機からの乱気流遭遇点をGMS画像上にプロットすると、それらは深い気圧の谷やジェット気流の近辺に集中する。口絵写真1は殆んど同時刻に集中的に乱気流が報告された時のもので、このような形状をした雲パ



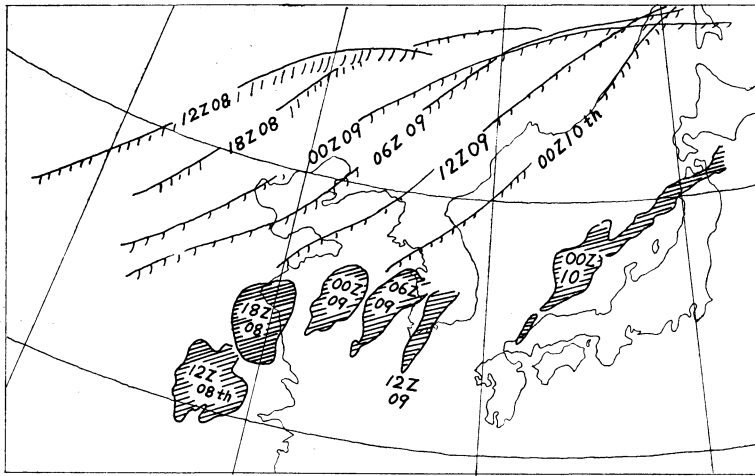
第1図 300 mb 等風速線図(ノット)とジェット軸
(1978年9月6日 1200 GMT).

ターンは乱気流発生 の典型例の一つであろう。この時刻の300 mb 面天気図の等風速線図を第1図に示す。亜熱帯ジェットは日本海から東北地方を横切り三陸沖に出て147E 付近の気圧の谷から北東に走っており、この時のジェット核の風速は120ノット位になっている。又北系のジェットが沿海州方面から北海道南部を走りこの気圧の谷の東側で亜熱帯ジェットと合流している。従って、乱気流発生域は第1図でも分かるように風の水平シャアの大きな場所に一致し、これらのジェット軸に直交するすじ状の絹雲群が明瞭な場所となっている。口絵写真2では輪島～仙台を南西から北東方向にジェットが走り(解析図省略)、これに沿った絹雲が見られる。39N, 148E 付近には強風軸に直交するすじ状の絹雲群が見られ、乱気流遭遇が集中している。45N, 160E 付近の遭遇域は対流雲の悪天に起因するものが含まれると解釈される。口絵写真3では上層の強風軸に沿った絹雲が日本海から北海道とその東海上にかけて湾曲し、150E から以東で西北西～東南東方向の様な流れになっている。湾曲した流れ付近で並から強い乱気流が、また単調な流れの40N, 160E 付近で弱い乱気流の遭遇が報告されており、ここではトランスパース状の雲域が見られる。一

* Nobu Shibata, 気象衛星センター解析課

第1表 ICAO 航空委員会による乱気流階級表

気流の悪さの階級		加速度計示度		気流の悪さの程度
なし	0	1.0g	1.0g	なんら動揺を感じない
弱 (Λ)	1	1.1g	0.9g	やや動揺を感じるが容易に修正できる
	2	1.3g	0.7g	やや動揺を感じるが腰の浮くほどでない
並 (Λ)	3	1.6g	0.4g	相当動揺を感じ腰が浮く
強 (Λ)	4	1.9g	0.1g	動揺大きく身体浮上り操縦困難
	5	2.2g	-0.1g	動揺きわめて大きく操縦きわめて困難



第2図 対流雲域とそれに対応したトランスバースラインの動き (1978年9月8日~10日).

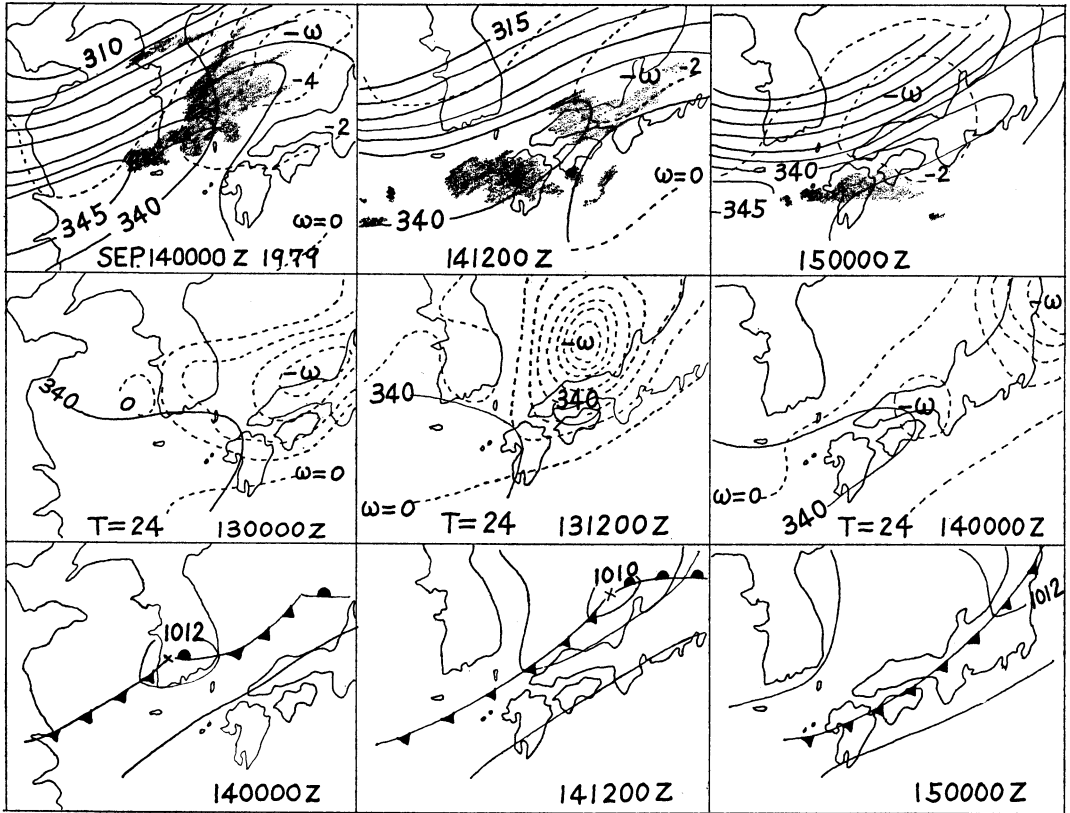
般に湾曲したジェット流では直線状の場合に比較して乱気流が発生しやすいと言われている (伊藤, 1971). なお航空機観測報告からの乱気流の階級は殆んどパイロットの主観的観測だが、参考として ICAO 航空委員会による乱気流階級表を第1表に示す.

3. テイパリングクラウドに伴うシビヤウエザー

口絵写真4は1978年10月10日0000 GMTの赤外画像である. この日の朝6時に関東南海上のテイパリングクラウドの類の雲域を通過したDC-8型航空機が千葉県館山の南35カイリで強の階級の乱気流を避けようとして26,000フィートから30,000フィートに飛行高度を上げたと思われる報告があった. この付近の緯度帯では発達した対流雲を避ける高度は30,000フィート位だが30N以南では対流雲の雲頂も高く、40,000フィートを越す高度で

乱気流遭遇の報告があり、乱気流を避けるための高度は南程高くなる.

対流雲の集合した雲域は数日にわたって雲画像写真から追跡できる場合も良く見受けられる (成川, 1980). 1978年9月8日から10日にかけて追跡したものを第2図で示す. 8日1200 GMTにおける上海付近の対流雲域はその北西から東進する強風軸に呼应しながら北東ないし東北東進している. 口絵写真5は9日0600 GMTの赤外写真で、対流雲は朝鮮半島の西方海上でテイパリングクラウドの形態を示し始め、一方強風軸に伴うトランスバースラインはこの北側にみられる. このあと10日0000 GMTの画像までこのシステムは維持されており日本海南部から山陰沿岸に先端が延び雷雨も観測された.

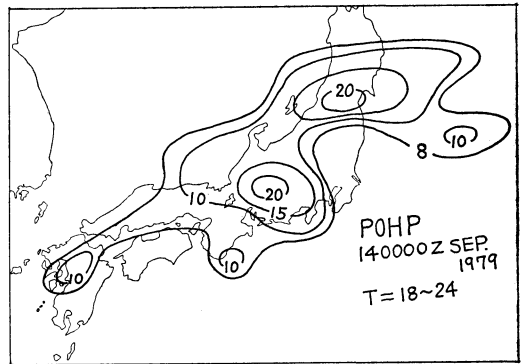


第3図 テイパリングクラウドの監視と予想。

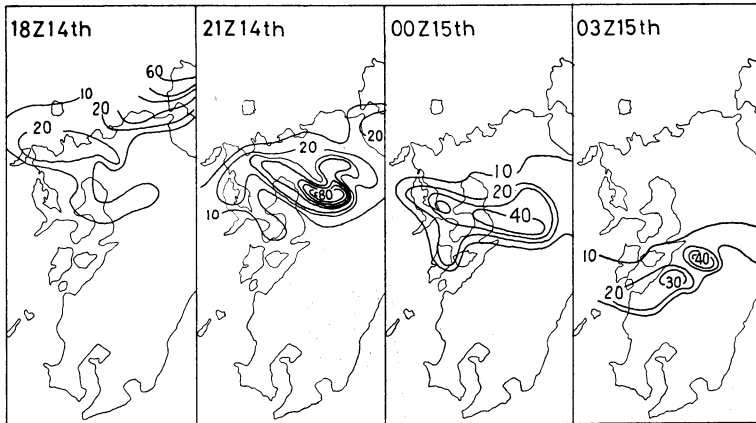
上段：実況図
 中段：上段に対応する24時間予報図
 下段：地上実況図
 細実線：850 mb 相当温位
 点線：700 mb 上昇流 (2 mb/hr毎)

4. テイパリングクラウドの監視

暖湿な気団ではかなりの時間、対流雲は維持され移動を続ける。第3図は1979年9月14日0000 GMTにおいて朝鮮半島付近に見られた対流雲システムがその後どのように移動したか、又予想図との対応はどうなっていたか、アメダス雨量実況とも併せて検証した例である。第3図下段は地上天気図で14日0000 GMTには1,012 mbの低気圧と前線が解析されており、これが24時間後には北東進して北日本に達し、これから寒冷前線は九州の西海上に延びた。第3図上段は850 mb面での相当温位に準地衡風近似より求めた700 mb上昇流を重ねたもので、対流雲は700 mb上昇流域内で、850 mb相当温位は335K度線が日本海に突込んだ形の環境の中で出現している。活発な対流活動が判断される雲域は多くの場合 ω_{70} が $-1 \sim -2$ mb/hrの域に現われるという指摘もあ



第4図 MOSによる大雨(地点最大30mm/3hr以上)の確率(%)分布, 14日00Zをインシタルとした18Z~24Zの予報期間。

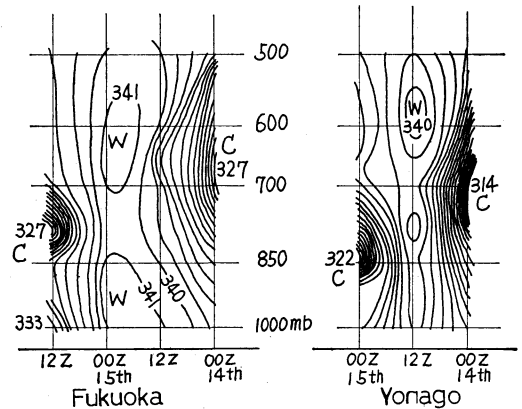


第5図 九州地方北部～中部にかけての前3時間雨量実況図（アメダス地点より、1979年9月14日18Z～15日03Z，単位：mm）。

る（植村，1980）。その24時間後も九州地方の中部を中心に暖湿な気団の中に対流雲は維持されておりこの雲域の北側で相当温位傾度は南北に急となった。第3図中段は同図の上段に対する予想図であるが，対流雲の維持される環境における相当温位は高く，700 mb 上昇流域内とするならその予想された環境は24時間後の15日0000 GMT で九州地方の中部から四国地方にかけての領域となる。ここでは日本海に去った主低気圧に関するものは論外にして，この低気圧から南西に延びる寒冷前線と画像から見られる活発な対流雲の推移についてのみ考える。第4図は14日0000 GMT を初期値とした14日1800～15日0000 GMT の予報期間に対する大雨降水の確率分布（MOS）で，大雨の確率は九州でもかなり高いことを示している。事実，第5図の降雨実況図で示す通り14日2100 GMT では大分県や熊本県で3時間に70～80 mm の雨量を記録し山岳部を中心に大雨域は画像の対流雲域に対応しながら南下して弱まった。第6図は福岡と米子における相当温位の時間断面図である。暖湿気団は両方とも500 mb 面まで達しているが米子では14日1200 GMT 以後700 mb 以下の下層に寒気のもぐり込みが見られ，そのあとおくれで福岡で15日0000 GMT 以後になって寒気が南下して不安定が解消し，15日0600 GMT には鹿児島島の北方で3時間に28 mm 程度の降水を最後に終焉となった。

5. まとめ

衛星画像における雲の様々な形態から寒気の高やジェット気流の位置・走向が容易に分かり，上空大気のおお



第6図 相当温位の時間断面図（福岡・米子），1979年9月14日～15日。

よその流れの判断が可能となる。航空機にとって全く予期しないで遭遇する乱気流は非常に危険性を含んでいる。3時間毎の画像監視から得られるリアルタイムの適切な情報は航空気象の立場からも期待されるところが大きい。

文献

- Anderson, R.K., et al., 1974: Application of meteorological satellite data in analysis and forecasting, ESSA Tech. Rep. NES-51.
- 伊藤 博編, 1971: 航空気象, 東京堂.
- 成川二郎, 1980: 「ひまわり」の画像から——長期間移動する活発な中規模雲系, 天気, 27, 285-288
- 植村八郎, 1978: 気象衛星雲画像と降雨域について, 1978年度秋季大会講演予稿集.