

衛星画像上で積乱雲に似た外観を呈する雲

Clouds with Appearance like Cb-Cloud on Satellite Imagery

木村 隆 昭*

Takaaki Kimura*

Abstract

It is often difficult to distinguish Cumulonimbus (Cb) from Cirrus (Ci) in satellite cloud imagery when only IR imagery is available. In some cases it is not easy even if we have both VIS and IR imagery.

The author presents several examples of such difficult cases observed by GMS, and makes some discussions on how to discriminate between Cb- and Ci-cloud with the aid of weather radar observation and upper air analysis. The area picked up in this study is confined to Japanese Islands because of availability of radar data.

1. まえがき

近年 SDUS の展開が進み予報や調査業務への GMS 画像の利用が増加するにつれ、雲解析の中でもシビアウェザーを伴う積乱雲の識別の問題が生じてきている。すなわち衛星画像における積乱雲と絹雲等との判別が赤外画像のみでは不可能な場合がしばしばあり、可視・赤外の両画像によってさえ困難なこともある。

そこでここではそのような事例を幾つかとりあげ、レーダーや高層観測資料等を用いて雲の種類を確認し、さらには必要に応じて判別法を示す。ただしレーダー観測資料による検証を必須の条件としたため、日本付近の事例に限定した。

なお衛星画像上の一般的な積乱雲や絹雲の特徴については、気象衛星センター発行の「雲画像の解析とその利用」に詳細な解説があるので参照されたい。

2. 積乱雲に似た外観を呈する雲の事例

事例 1. 発達中の寒気谷前面の雲域北西縁に発現する濃密なジェット絹雲

寒気期にはしばしば北にふくらんだ厚い組織的な雲域が寒気谷の前面に形成され、その北西縁は通常、ジェッ

* 気象衛星センター解析課, Meteorological Satellite Center

ト軸に沿っている。この北西縁には時に積乱雲列に似た外観を持つ濃密絹雲が現われることがあり、この雲が発現すると雲システムは発達することが多い。

Fig. 1 は1983年12月11日 06Z の赤外と可視画像である。本州の東の海上の雲域は、西日本を通過中の寒気谷の前面に位置している。この雲域の北西縁に当る鹿島灘から三陸沖にかけて積乱雲列に似た雲があるが、これは積乱雲ではなくトランスパース状の濃密なジェット絹雲である。Fig. 2 に示した同時刻の仙台レーダーのスケッチ図では、問題の場所にエコーは全く無く、この雲が積乱雲ではないことが明瞭である。そして実際の寒冷前線に伴う対流雲列や暖域の積乱雲列 (Fig. 1 の A-A。ただしこの後の 12Z からは、この雲列に対応させて寒冷前線が解析されている。)は、この濃密絹雲の南側の雲域内に位置している。

Fig. 1 の6時間後の同日 12Z の赤外画像を Fig. 3 に示す。問題となる濃密絹雲は 06Z に比べると南北に立って、雲システムは発達している。図中、白い太線は 300 mb 強風軸である。この濃密絹雲は強風軸の南側に位置しているのが分る。

事例 2. 上層高気圧南東部の濃密絹雲

上層高気圧の南東部には筋状(ストリーク)や粒状の濃密絹雲が現われることが多いが、この中にはあたかも積乱雲のような外観を呈するものも少なくない。

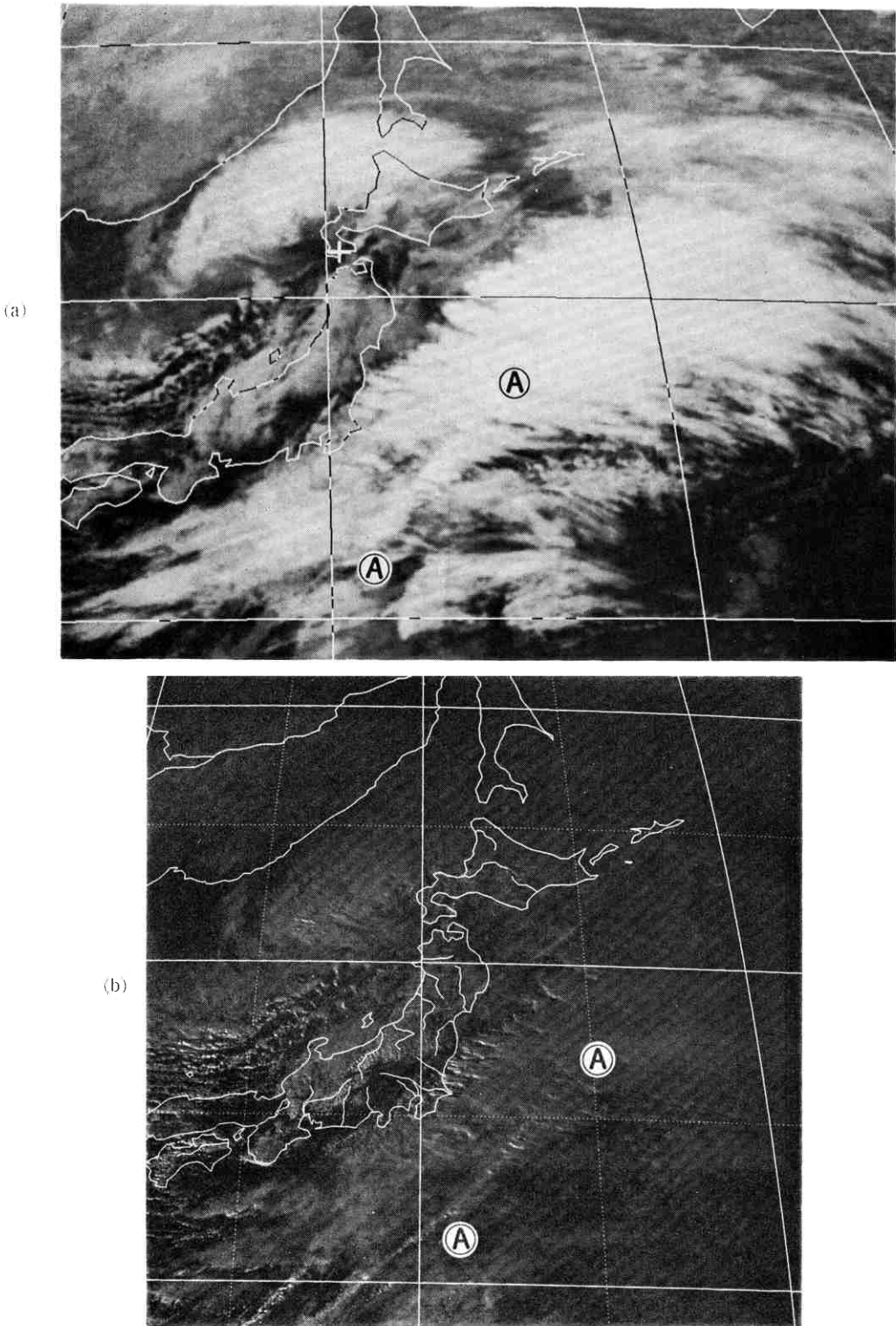


Fig. 1 0600Z DEC 11 1983. a; IR b; VIS

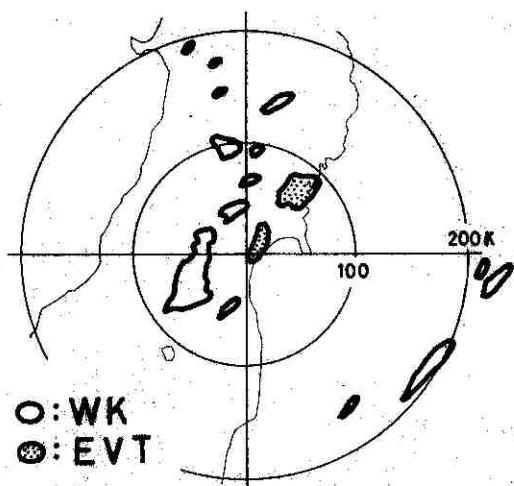


Fig. 2 Weather Echo observed by Sendai Weather Radar. 0600Z DEC 11 1983.

Fig. 4は1983年7月6日06Zの赤外と可視画像である。日本の南の海上には西南西から東北東に延びる前線性雲バンドがあって、その南の縁には積乱雲が連なっている。この雲バンドの南側、A周辺には雲頂温度の低い粒状の雲が、またB-Cには筋状の雲があって、赤外画

像では一見積乱雲のようにも見える。しかしこれらの雲が網雲であることは、形状や雲頂温度が比較的一様であること、また筋状の雲ではさらに南西へと続く部分が明らかに網雲の外観を呈していることから分るのであるが、可視画像を見れば輝度が弱いことから一層明らかである。

ここで問題となるのは、台湾近くの筋状の雲(矢印)である。ほぼ一様に延びる形状、および南西の部分では可視画像での輝度も弱いことから網雲の可能性が強いが、先のB-Cとは異なり北東の部分では可視画像の輝度も強く、積乱雲の雲列のようにも見える。

そこでこの雲を判別するために、時間の経過に伴う形状変化と移動の様子を調べてみる。積乱雲はその短いライフタイムから分るように、時間経過に伴う形状変化は大きい。一方、筋状あるいは粒状の濃密網雲は一般には形状の保存性が良い。また網雲ならばその動きは上層の流れに沿う。これに対し、積乱雲では個々の雲塊は雲底近くの風に流されると言われているが、現在のように3時間間隔の画像ではセルあるいはクラスターの追跡が困難な場合が多い上(ただし雲移動ベクトル測定用の30分間隔の画像は有効)、時には風上側に新たに雲塊が発生してあたかも風上方向に移動したように見えたり、逆に風下側に新たに発生して見かけ上風速よりも速く移動し

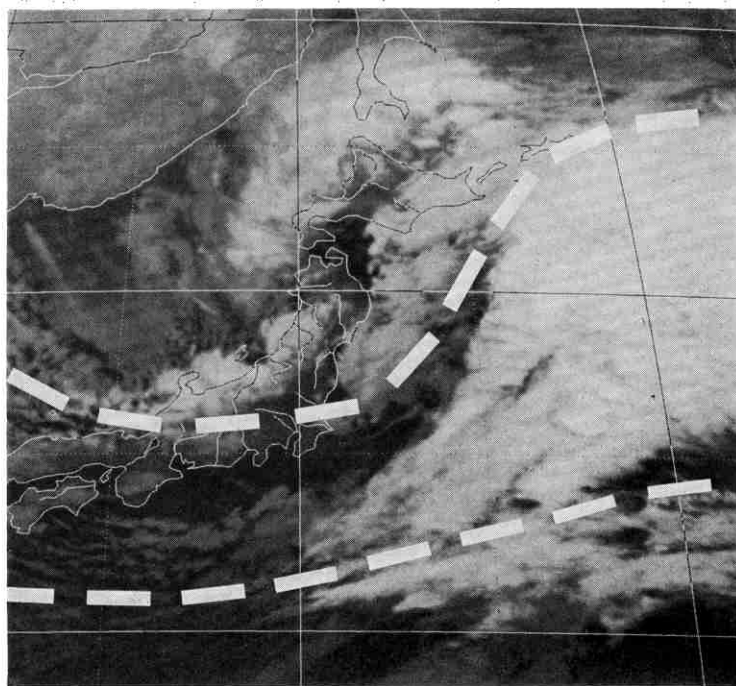
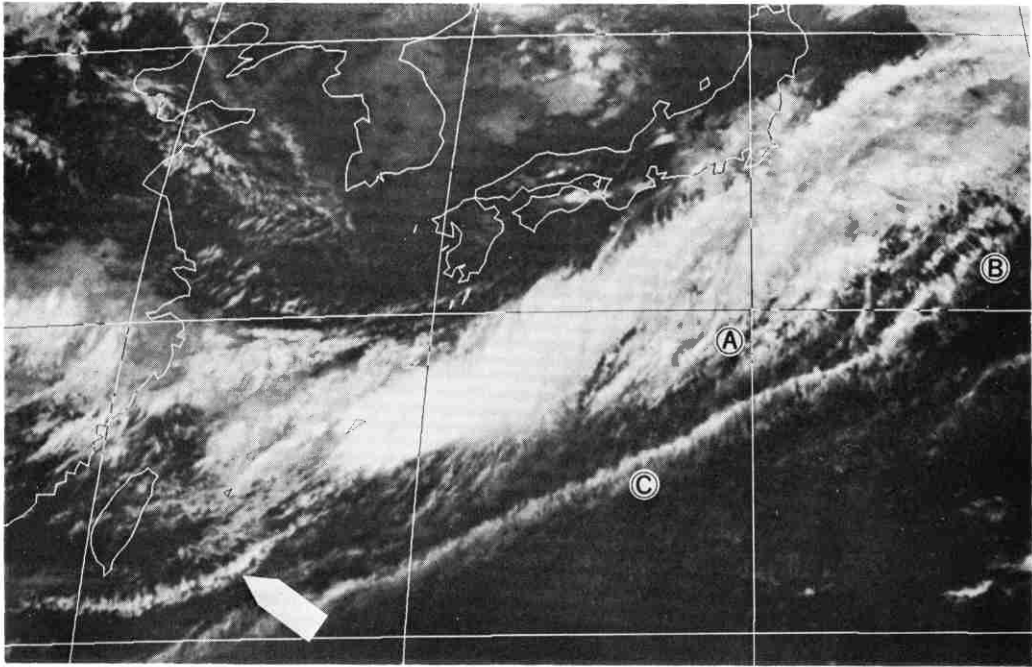
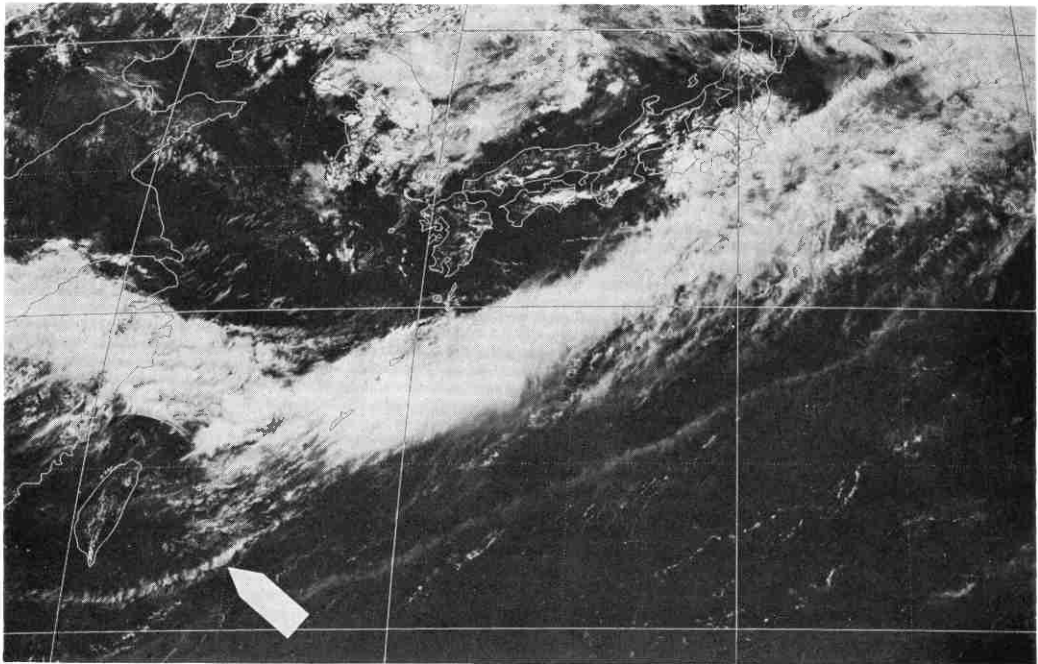


Fig. 3 1200Z DEC 11 1983. IR

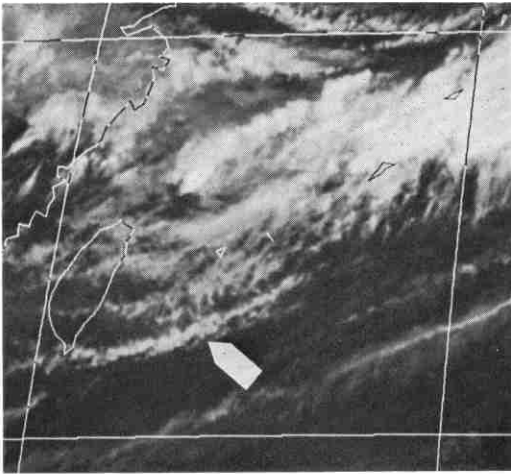


(a)

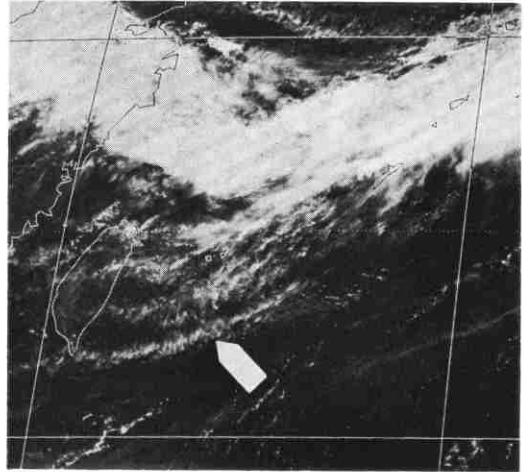


(b)

Fig. 4 0600Z JUL 6 1983. a; IR b; VIS.



(a)



(b)

Fig. 5 0300Z JUL 6 1983. a; IR b; VIS.

たように見えることもある。すなわち積乱雲域の動きと風との関連は一義的でない。

Fig. 5 は Fig. 4 の3時間前の同日 03Z のものである。Fig. 4 の問題の雲に良く似た形状を持つ雲が石垣島の南 (矢印) に見られる。沖縄付近の積乱雲の形状変化が大きいのと比べ、この雲は変化が小さいことが分る。Fig. 6 に示した同日 00Z の 200 mb の流れと併せて考えれば (03Z, 06Z の雲の位置を太線で示す。), この雲が絹雲であろうことは容易に推定できる。またこの雲の北 (03Z では 170 km, 06Z では 240 km) に位置する石垣島のレーダー観測 (図省略) によれば、03Z で同島の南 80 km 付近に弱い対流性の雲 (エコー頂高度 2~2.5 km) が数個散在するのみで、これ以外にはエコーは全

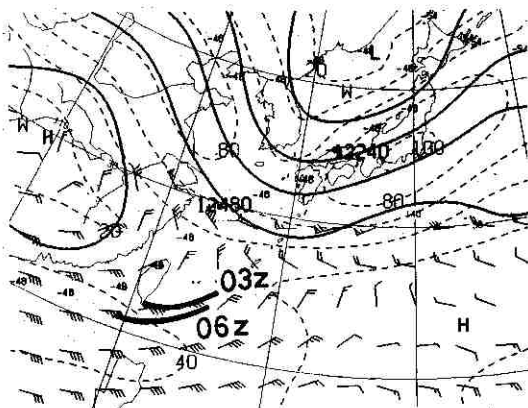


Fig. 6 Analysis of 200 mb level. 0000Z JUL 6 1983.

く観測されていない。Fig. 4におけるこの雲の輝度温度は約 -50°C であり、これは同日 00Z の石垣島の状態曲線では 200 mb に相当することから、この雲が積乱雲であるならば同レーダーのビーム高度から考えて当然エコーが観測されるはずである。

このように絹雲でも可視画像で積乱雲と同等の輝度を有する例は、前記事例1を含め少なからずあり、注意を要する。

事例 3. 上層の正渦度移流域に伴って移動する濃密絹雲

上層の正渦度とその進行前面に絹雲を伴うことはよく見られる現象である。このためある程度のまとまりを持って移動する絹雲、とりわけ高気圧性曲率を持った絹雲域・絹雲ストリークは上層の正渦度の存在を示す良い指標となる。これらの絹雲は一般には積乱雲と見誤ることはないが、団塊状の濃密絹雲である場合には時には判別に困難が伴う。

Fig. 7 は1983年11月3日 12Z の赤外画像である。北海道の東の海上から南西方向に雲バンドが伸び、福島県付近の雲頂温度の低い雲域に連なっているように見える。この福島県付近の雲は積乱雲のような外観を呈している。しかしこの雲は積乱雲ではない。Fig. 8に同時刻の富士山レーダーのスケッチ図を示すが、福島県付近にはエコーは全く観測されていない。

このような雲の雲形判別の方法は前例と同様、過去数時間の経過を振り返ってみることである。そこでFig. 7の3時間前の09Zの赤外画像をFig. 9に示す。北陸沖

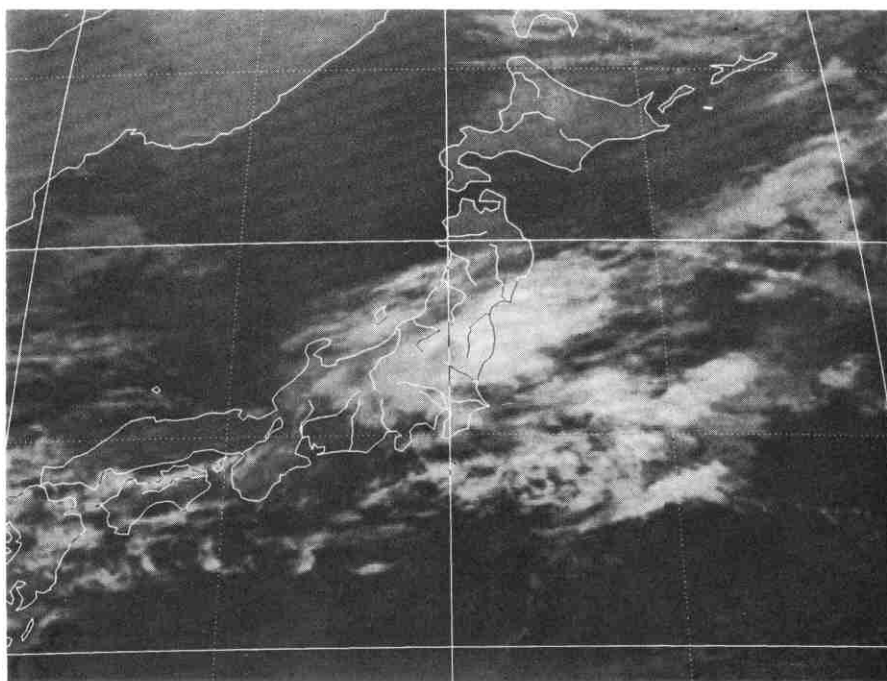


Fig. 7 1200Z NOV 3 1983. IR.

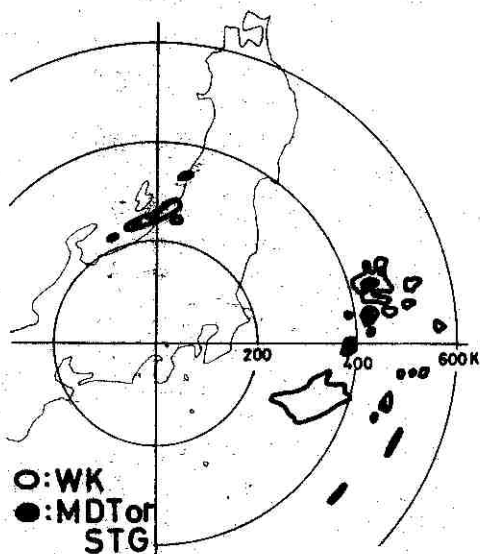


Fig. 8 Weather Echo observed by Fuji-san Weather Radar. 1200Z NOV 3 1983.

に似たような形状を持つ雲域がある。高気圧性曲率を持った網雲ストリークがあること、移動の速さが大きい(約90ノット)ことから、この雲は上層の正渦度移流に

伴う濃密網雲と推定される。この雲が Fig. 7 では福島県付近にかかっているのであるが(この時の 500 mb 渦度分布図によれば、北陸地方に正渦度の極大がある。), 判別の困難な理由は単に外観が積乱雲に似ていることだけではない。それはこのような上層の正渦度移流に伴う網雲域の接近と共に、前方の下層雲域内で対流雲が発達する現象が数多く見られるからである。Fig. 7 の例では北海道の東の海上から南西に延びる雲バンド(オホーツク海中央部の低気圧から延びる寒冷前線に伴う。)の存在が問題となる。しかし3時間前の 09Z までの画像と地上観測とを参考にすると、この雲バンドは 12Z (Fig. 7) においても福島県付近には達していないとみられること、また上層の正渦度移流域の接近に伴う下層雲の発達、その下層雲域が網雲の直下ではなく南側に位置する場合に多く見られる傾向があることから、問題の雲域には積乱雲は含まれていないものと推定されるのである。

なおこの網雲域は Fig. 9 に比べると Fig. 7 では拡大しているが、これは山脈による地形効果(事例4参照)も影響しているものとみられる。

また参考までに上記のような網雲の接近と下層雲の発達の様子は、Fig. 9 における房総半島の東の海上の雲域に見ることができる。

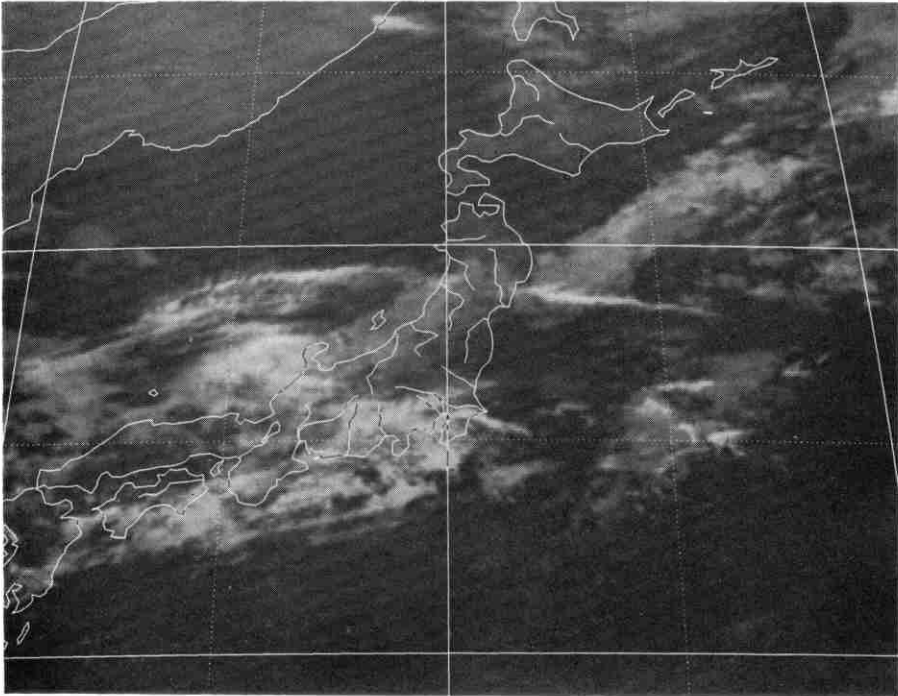


Fig. 9 0900Z NOV 3 1983. IR.

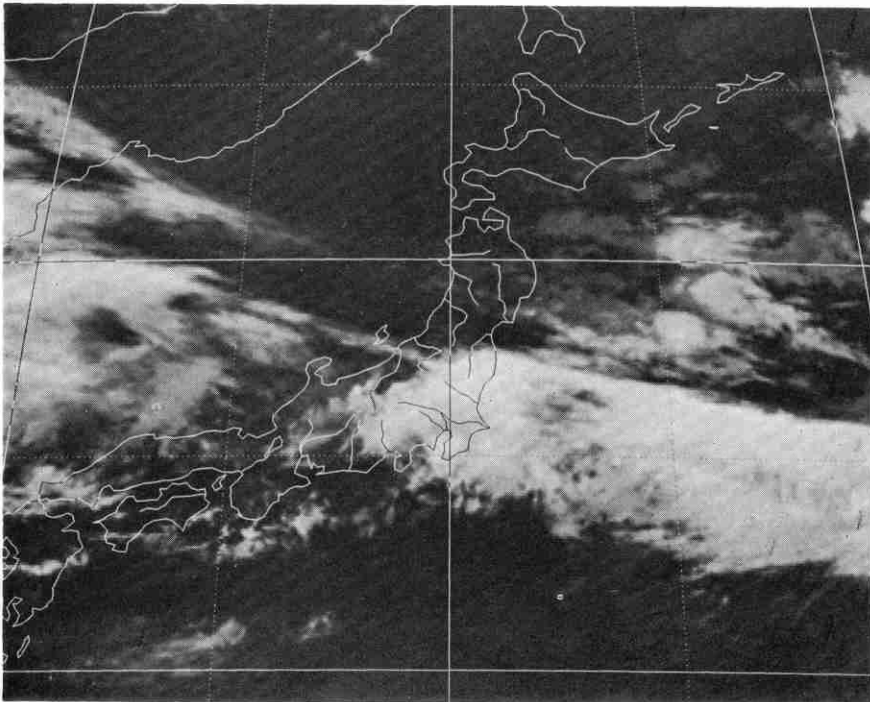
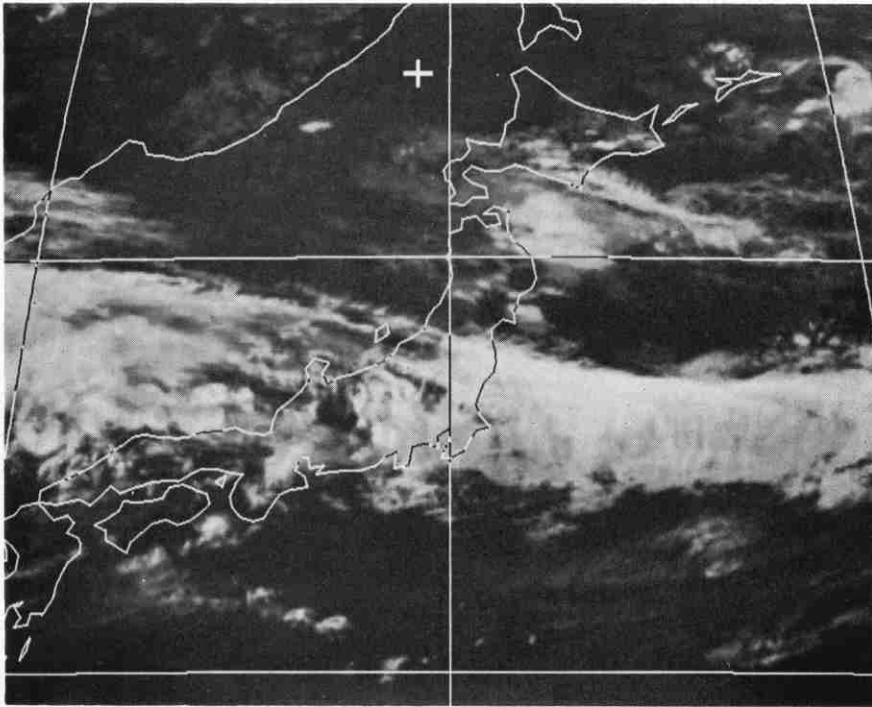
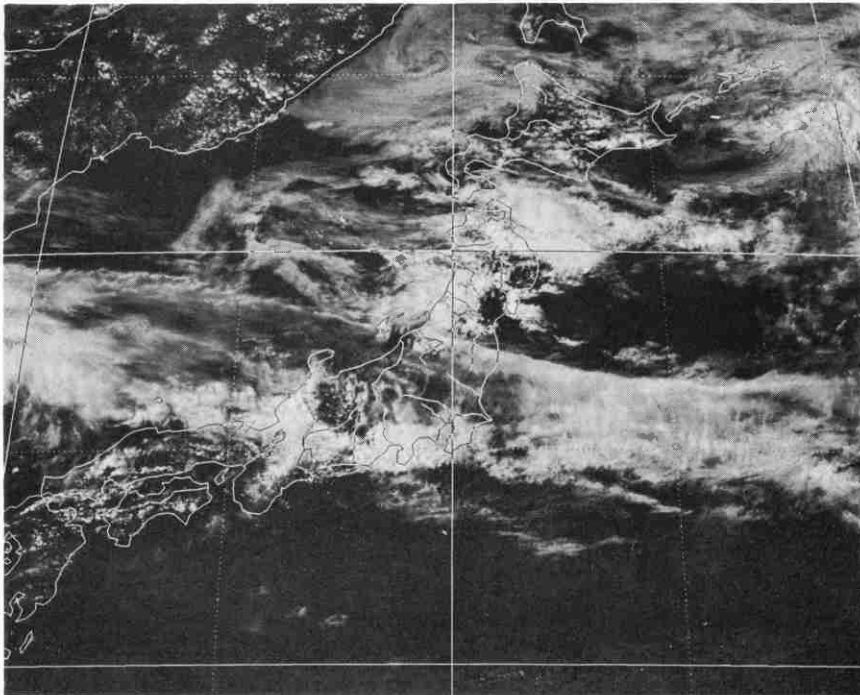


Fig. 10 1200Z JUL 24 1983. IR.



(a)



(b)

Fig. 11 0600Z JUL 24 1983. a; IR b; VIS.

**事例 4. 活発な対流雲域の一部に見える
地形性絹雲**

山岳の影響でその風下側に発生する上層雲がいわゆる地形性絹雲であるが、その特性上、発生場所はほぼ限定されている。日本の場合は大雪山系と奥羽山脈で主に見られる。この雲は赤外画像では極めて白く写り、風上側の縁が明瞭なこと（山脈に沿った直線状の縁を持つことが多い。）、持続性が強いことが特徴である。また可視画像では輝度が弱く、この雲の下に下層雲がある場合には透けて見える。

このように発生場所や外観の特徴から積乱雲との判別は容易であるが、赤外画像のみでは時に困難が伴うことがある。

Fig. 10 は1983年7月24日 12Z の赤外画像である。福島県から関東地方北部にかけて雲頂温度の低い雲がある。発生場所と形状から地形性絹雲である可能性が高い。しかしこの雲とは別に三陸沖には活発な対流雲を含む雲域があり、さらに南西に延びて福島県の雲域にまで達しているように見える。すなわちこの画像のみからは、この雲域内に積乱雲が含まれていないとは断定し難い。

このような場合には、問題となる雲域が地形性絹雲であるか否かを時間を逆昇って確認すると良い。小花(1981)によれば、地形性絹雲発生条件の一つ*は、山頂付近から対流圏上層までのほぼ絶対安定な成層であり、これは積乱雲発生の条件とは相容れないものである。すなわち地形性絹雲と積乱雲とは共存しない。そこでFig. 10の6時間前の同日06Zの赤外・可視画像をFig. 11に示す。この画像によると福島県にかかる雲域は先に挙げた特徴を満しており、地形性絹雲であることが分る**。09Z(画像省略)も参考にすれば12ZのFig. 10においても地形性絹雲が持続しているとみられ、よって積乱雲は含まれていないと判断される。

事実、Fig. 10 と同時刻の仙台レーダーの観測 (Fig. 12) によれば、東北地方北部から金華山沖にかけて活発な対流性エコーが多発しているにもかかわらず、仙台付近を明瞭な境界線として問題の雲域には全くエコーがない。

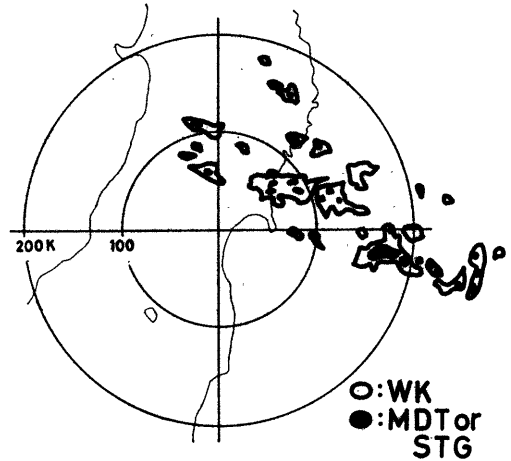


Fig. 12 Weather Echo observed by Sendai Weather Radar. 1200Z JUL 24 1983.

事例 5. 対流圏中層に雲底を持つ深い対流雲

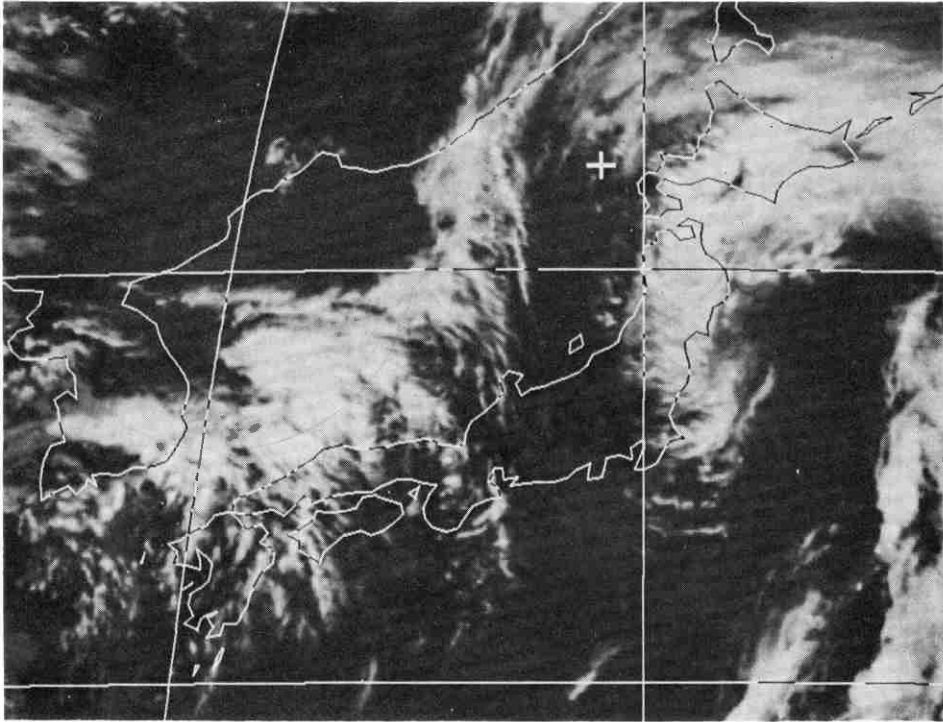
Fig. 13 は1983年7月13日 03Z の赤外と可視画像である。ここで山陰沖に見られる雲は積乱雲の外観を呈している。すなわち可視画像では輝度強く、赤外画像では低温で、どちらも団塊状である。しかもかなとこ絹雲とみられる雲が、個々の雲塊から上層風の風下側（ここでは南東側）へと広がっている。

しかしこの雲は対流圏下層に雲底を持つ通常の積乱雲ではない。Fig. 13 と同時刻の松江レーダーのスケッチ図 (Fig. 14) によると、この雲域には上空エコー（エコー底高度4.5~6.0 km, エコー頂高度6.5~9.0 km）のみで下層のエコーは全く観測されていない。またこの雲域は3時間後の06Zには同様な外観を保ったまま山陰地方一帯にかかってくるが、同レーダーの観測ではやはりFig. 14と同様な形状と高度を持った上空エコーのみであった。しかもこれらのエコーは通常の上空エコーが見せる層的な広がりがなく、団塊状で、その点では対流性エコー的形態であることに注目したい。

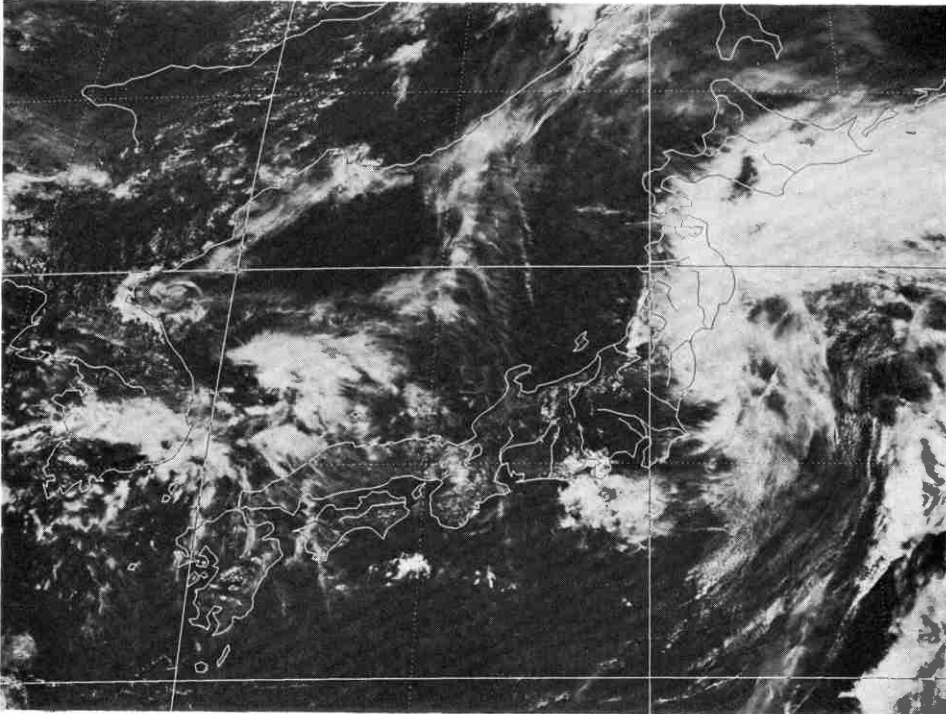
そこで他の資料も用いてこの雲の性状を調べてみる。Fig. 13の3時間前の同日00Zの赤外・可視画像をFig. 15に示す。朝鮮半島の日本海沿岸を中心に、Fig. 13と同様な外観を持った雲域が広がっている。この時の雲域内での地上観測による雲形は、 $C_M=2$ または $C_H=2$ となっていて積雲系の雲は全く無く、降水や雷に関する現象も観測されていない。Fig. 16はこの時雲域内にあった浦項 (Fig. 15の矢印) での状態曲線と高層風である。これを見ると450 mbに逆転層があり、これより下では乾燥しているが、上では湿潤でかつ安定度

*) 他の条件として、鉛直方向に変化がなく山脈にはほぼ直角な風向、山頂付近での10 m/sec以上の風速、上層での水蒸気存在を挙げている。

**) 09Zの可視画像でも判定は可能だが、太陽高度角が低くてやや不明瞭なため、ここでは06Zを示す。

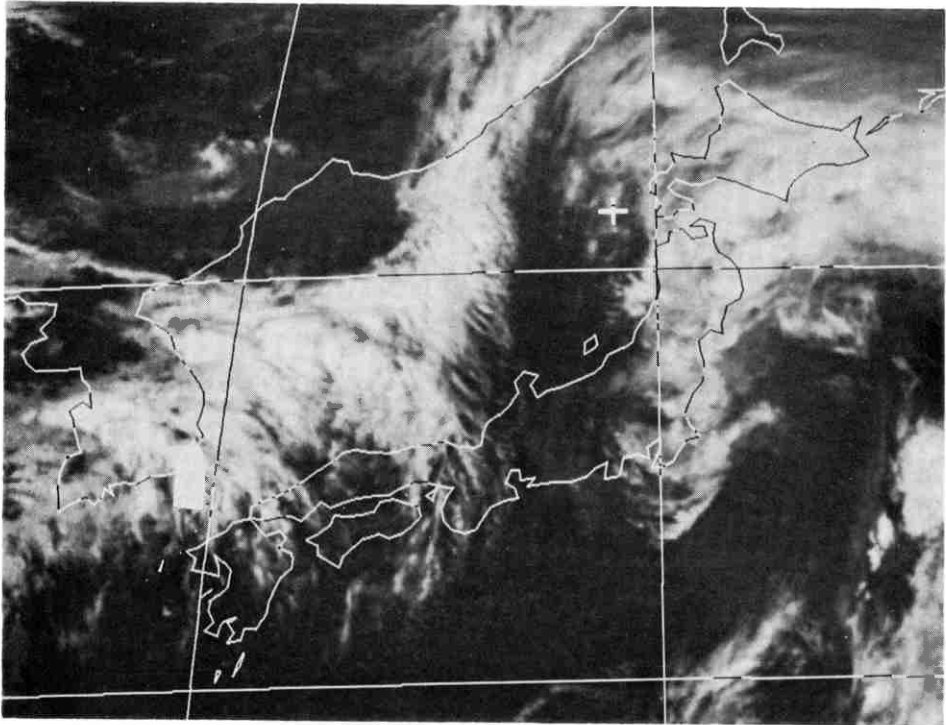


(a)

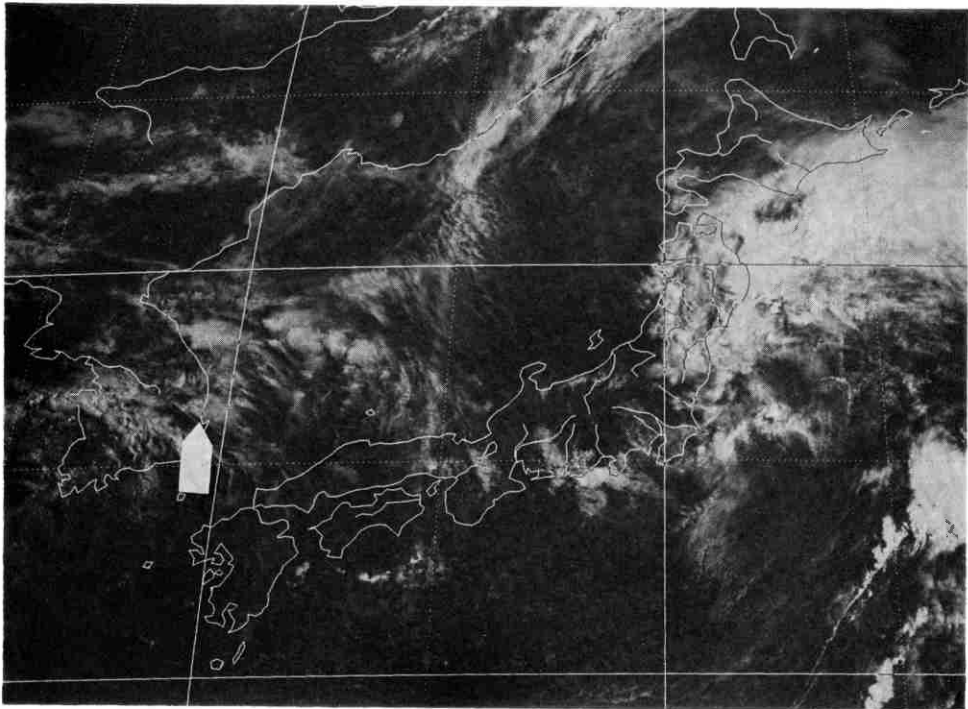


(b)

Fig. 13 0300Z JUL 13 1983. a; IR b; VIS.



(a)



(b)

Fig. 15 0000Z JUL 13 1983. a; IR b; VIS.

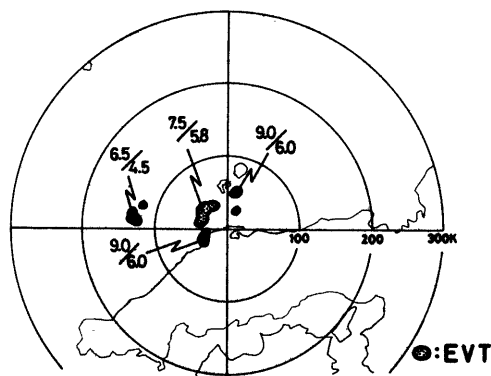


Fig. 14 Weather Echo observed by Matsue Weather Radar. 0300Z JUL 13 1983.

が悪くなっている。また同時刻の浦項付近の衛星風（雲移動ベクトル）は西北西50ノットとなっており、同所の250 mbの風と最も良く適合する。

これらのことからこの雲は対流圏中層から上層にまで達する厚い雲、しかも衛星画像では明らかに積乱雲の特徴を持っており、レーダーエコーの形態もこれを支持するところから、中層に雲底を持つ深い対流雲と考えられる。

このような雲についてはまだ調査が少ないため、発生機構などのモデルを示すことはできないが、同種の雲についての報告とみられる嶋村・高崎（1980）の一事例とは、谷の後面にあって下層の暖湿気移流はなく、中層では弱い正渦度の移流域に対応している点で共通している。ちなみに Fig. 15 の場合には東北地方南部に寒冷低気圧があって、朝鮮半島付近はその後面に当り、500 mbでは同半島西岸に $10 \times 10^{-6} \text{ sec}^{-1}$ の弱い正渦度の極大がある。

中山（1960）は航空機の資料を基に、対流圏中層から圏界面まで発達した対流雲の存在を報告しており、その発生場の条件として、500 mbの谷の近傍であることとそこでの圏界面下部の強い沿直シャーとを挙げている。今回の事例でも Fig. 16 では300~200 mb間には33ノット、300~175 mb間には55ノットの強いシャーがあることから、中山の事例と同様な雲とみられる。なおこの種の雲は、雲解析図では濃密絹雲として解析されている。

事例 6. 偏西風帯じょう乱に伴う雲渦の中心北側の厚い活発な雲

偏西風帯の谷に伴う発達中の雲渦には、中心の北側に衛星画像上では積乱雲の外観を呈した雲がしばしば現れ

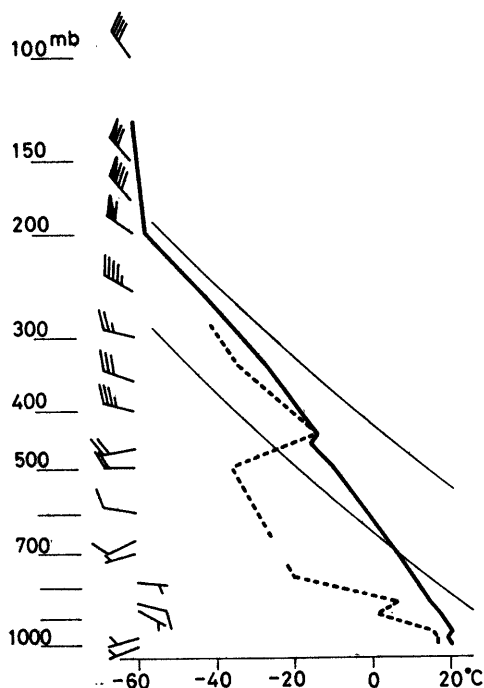


Fig. 16 Vertical Sounding at Pohang (47138), 0000Z JUL 13 1983. Thick solid line is Temperature, broken line is Dew-point Temperature and thin solid lines are Dry Adiabats. Wind speed is 5 knots in unit.

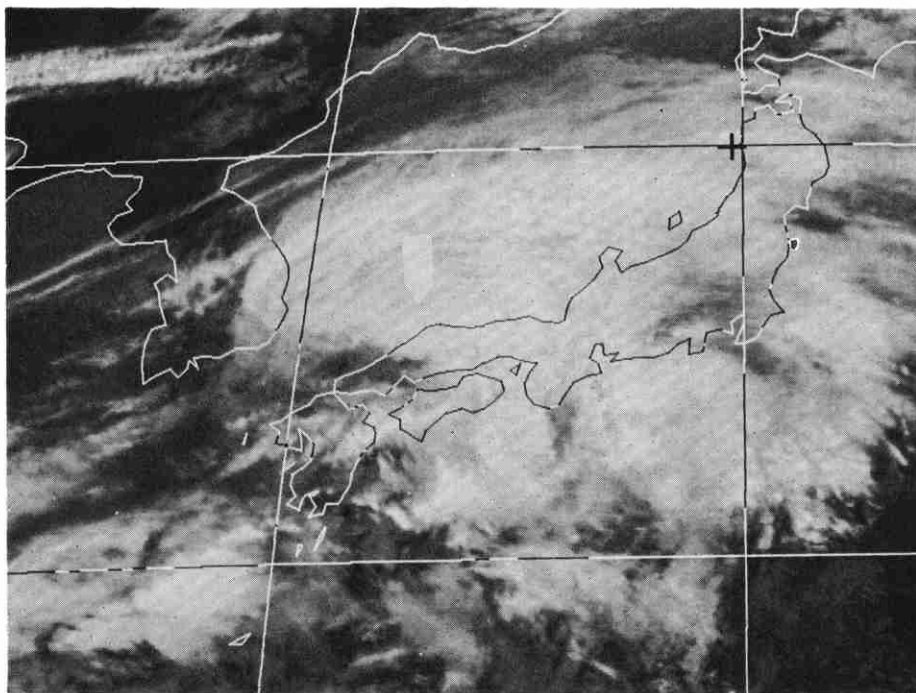
る。この内、上層の気圧場のパターンが異なる二例について紹介する。

なおこの種の雲は、地上からは乱層雲と観測されることが多い。

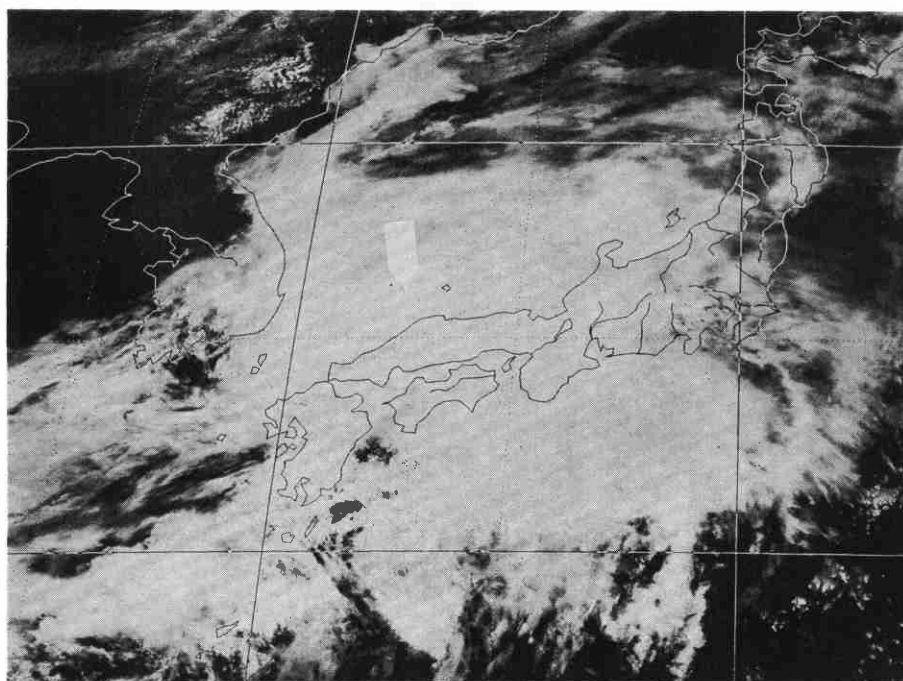
イ) 浅い谷に伴う雲渦の例

Fig. 17 は 1983年 4月10日 03Z の赤外と可視画像である。同日 00Z の 500 mb 天気図（省略）では朝鮮半島に浅い谷がある。これに伴う低気圧が 03Z では山口県沖にあり、寒冷前線が九州を通して沖縄の北西海上に延びている。Fig. 17 ではこの前線に伴う積乱雲列が見える。

ここで問題となるのは、雲渦中心のすぐ北側の雲頂温度の低い雲（矢印）である。赤外・可視両画像からは積乱雲のように見える。しかし丁度この雲域内に位置した松江のレーダー観測（Fig. 18）によれば、対流性の雲が卓越しているものの全体としては層状雲との混在で、エコー頂高度が 5~6 km 程度の雲域となっている。また 3時間前の 00Z にこの雲域内に位置した米子の高層観測データによれば、下層から上層まで潤潤 ($T - T_d < 5^\circ\text{C}$)

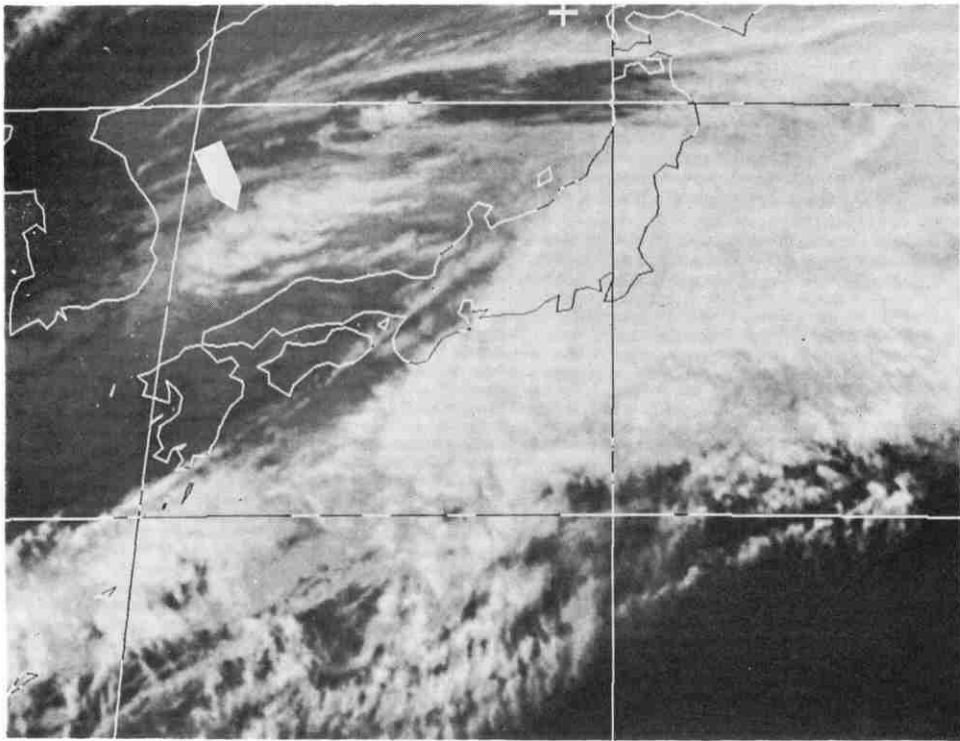


(a)

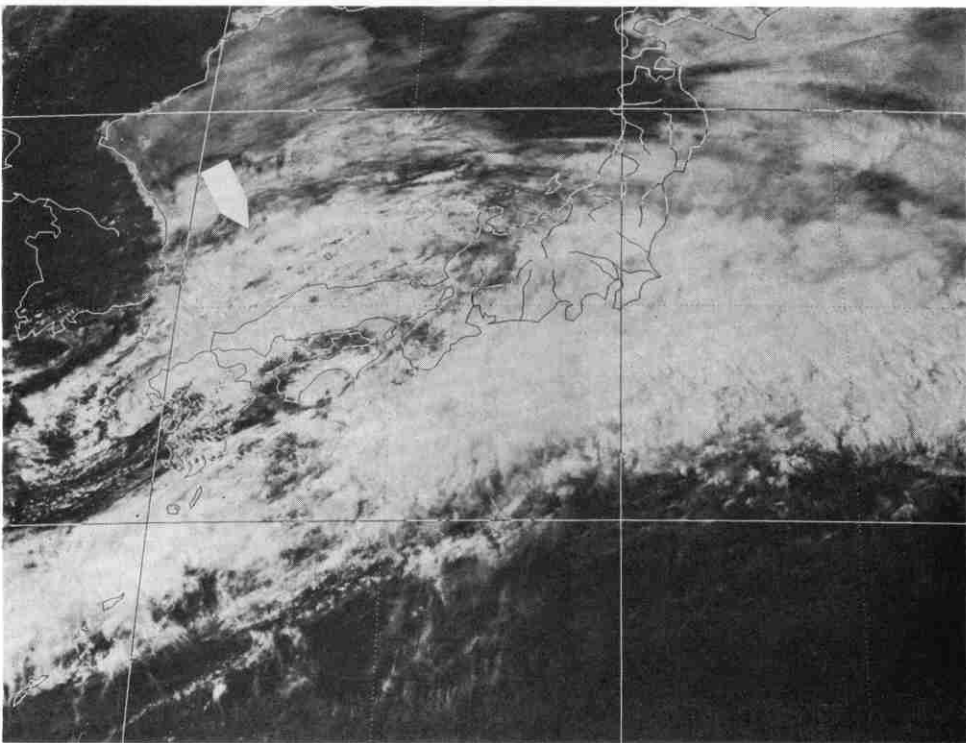


(b)

Fig. 17 0300Z APR 10 1983. a; IR b; VIS.



(a)



(b)

Fig. 19 0600Z JUN 16 1983. a; IR b; VIS.

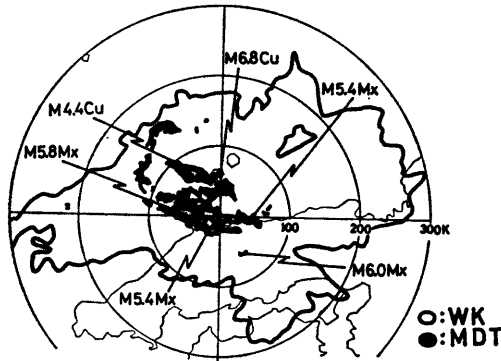


Fig. 18 Weather Echo observed by Matsue Weather Radar. 0300Z APR 10 1983.

で特に 800~500 mb で湿りの程度が強い ($T-T_d < 3^{\circ}\text{C}$) こと, またこの時の赤外画像 (省略) での輝度温度は約 -56°C で, これは米子の状態曲線では 220 mb に相当することから, この雲域では下層から中層にかけての厚い降水性の雲の上に, さらに連続して上層雲が存在しているもので, 積乱雲はないものとみられる。

ロ) 切離低気圧に伴う雲渦の例

Fig. 19 は 1983年 6月16日 06Z の赤外と可視画像である。同日 00Z の 500 mb 天気図 (省略) によれば, 朝鮮半島南部に切離低気圧があり, これに伴う下層の雲渦が Fig. 19 では九州北部にある。この北側に当る山陰沖には雲頂温度の低い雲 (矢印) があり, 赤外・可視画像からは積乱雲のように見える。だがこの雲も前例と同様, 積乱雲ではない。同時刻の松江のレーダー観測 (Fig. 20) によれば, この雲域は対流性の雲と層状の雲との混在となっており, エコー頂高度も一部に高い所があるが, ほぼ 6 km 程度となっている。この雲域は広が

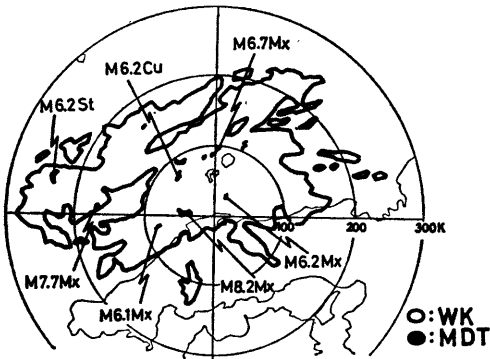


Fig. 20 Weather Echo observed by Matsue Weather Radar. 0600Z JUN 16 1983.

りながら東に動いて, 6 時間後の 12Z (画像省略) には山陰地方東部から佐渡ヶ島にかけてかかっている。この時この雲域内にあった輪島の高層観測データによると, 気温・露点差の鉛直分布が下層から上層まで 6°C 以下, 特に 750~500 mb では 3°C 以下であること, また赤外画像での輝度温度は約 -45°C で, これは輪島の状態曲線では 270 mb に相当するなど, 前例で示した米子のそれとほぼ同じ特徴を持っている。以上のことから, この雲域でも下層から中層にかけての厚い降水性の雲の上に, さらに連続して上層雲が存在しているもので, 積乱雲はないものとみられる。

3. あとがき

ここで紹介した事例以外にも判別が難しい例は多いが, 前後の画像や天気図等を利用すれば可能な例が大部分である。

例えば東西走向を持った前線性雲バンドの場合, 積乱雲はバンドの北縁には存在しないのが普通であるが, 時には衛星画像上でバンド北縁付近に積乱雲があるように見えることがある。しかし実際には前述の濃密絹雲であったり, あるいはその雲は前線に伴う積乱雲であるにもかかわらず, その南側に別の前線に伴う雲バンド, もしくは前線上の低気圧の暖域内の積乱雲例があるために, 見かけ上そのように見えることが多い。

一般論としては, 冬期日本海側で観測される寒気移移場のものを除けば, 積乱雲は衛星画像上ではとりわけ明瞭な外観を持つのが普通であり, 判別し難い場合には絹雲の可能性が強い。また中層雲を含む雲域内での判別し難い低温域は, 乱層雲の可能性が強い。

以上, 断片的な解説であるが, 今後の雲解析への一助ともなれば幸いである。

謝 辞

ここに掲載できなかった事例をも含めレーダー資料を送って下さった各気象管署の方々, および有益な助言をいただいた櫃間気象衛星センター解析課長に感謝いたします。

参 考 文 献

気象衛星センター (1983): 気象衛星ひまわりによる雲画像の解析とその利用。
 小花隆司 (1981): 地形性絹雲, 天気, 28, 624-634.

- 嶋村 克, 高崎洋見 (1980): 下層に雲底をもたず積乱雲の外観をした雲, 天気, 27, 448-451.
- 中山 章 (1960): 総観的立場からみた対流雲の発達 (第3報) —対流圏中層から圏界面まで発達した積乱雲—, 研究時報, 14, 453-458.