

第2章 衛星による雲型判別*

表 2-2-1 衛星画像による雲型分類

2.1 雲型判別の特徴

衛星は、地表面から目視で雲形を観察する地上観測と異なり、遙か地球の上空から雲頂の様子を観測している。また、衛星に搭載されたセンサーの分解能 (GMS-5では可視約1km、赤外約5km) は人間の目に比べ粗く、地上観測のような細かな雲形分類は出来ない。このように衛星で判別する雲型は、地上観測の雲形と基本的に別なものであることを認識する必要がある。地上観測の雲形と成因や構造的に類似した雲型名を用いているにすぎない。なお、以後衛星から判別する雲のタイプを「雲型」、目視による地上観測から得られる雲のタイプを「雲形」と区別する。

2.2 雲型の分類

衛星による雲型判別では、一般にCi (上層雲)、Cm (中層雲)、St (層雲/霧)、Cb (積乱雲)、Cg : Cumulus Congestus (雄大積雲)、Cu (積雲)、Sc (層積雲) の7種類に分類する (表 2-2-1)。

この雲型は、層状雲 (Ci、Cm、St) と対流雲 (Cb、Cg、Cu) とに特徴づけられる。Scは層状雲と対流雲との中間的な性格を持つ。

層状雲は、鉛直方向の広がり (雲の厚さ) に比べ水平方向への広がりの方がはるかに大きい。層状雲は、「ひとまとまりの広がりを持つ雲域として認識される」「雲の表面が滑らかで雲頂高度の凹凸が少ない」などの特徴を持つ。一方対流雲は、層状雲に比べ、雲は厚く雲域は小さい。対流雲は「独立したセル状の雲域として認識されやすい」「雲域の表面は凹凸している」などの特徴を持つ。

衛星から観測する雲を上・中・下層雲に分類することもできる。この場合、雲底高度によって上・中・下層雲を分類する地上気象観測と異なり、衛星では雲頂高度によって上・中・下層雲に分類するので、留意が必要である。雲頂高度で分類すると、上層雲では400hPa以上、中層雲では400～600hPa、下層雲では600hPa以下がおおよその目安となる。上層雲 (Ci)、中層雲 (Cm) のほか、下層雲にはCu、St、Scを含む。一般にCg、Cbはこうした分類に含

雲 型	分 類	
上層雲 C i	層状雲	上層雲
中層雲 C m		中層雲
層雲/霧 S t		下層雲
層積雲 S c	対流雲	
積雲 C u		
雄大積雲 C g		
積乱雲 C b		

めない。

2.3 雲型判別

人間の眼による雲型判別には、気象衛星が打ち上げられてから利用されている可視画像と赤外画像を使うのが一般的である。一方計算機では、可視・赤外画像のほか水蒸気・赤外差分画像も含めた雲型判別が用いられる。徳野・隈部(1996)は、雲解析情報図の雲型データを計算機により自動作成するアルゴリズムを示した。それは0.25°格子範囲について各画像から得られるヒストグラムの形状や温度差分の特性等から雲型を判別していく。計算機による雲型判別は客観的な判別が可能であるが、気象条件や雲パターンなどを考慮した判別は難しい。逆に人間の眼による雲型判別は、気象条件や雲パターン・時間変化など総合的な気象知識を駆使できる利点がある。これからの雲型判別は、計算機と人間のそれぞれの長所を取り入れながら進めていくことが必要であろう。この節では、人間の眼による雲型判別について述べる。

2.3.1 可視画像と赤外画像による判別

可視画像では、反射される太陽光の強さを表す。雲では雲水量が多く厚い雲ほど反射が強い。対流雲は層状雲に比べ雲粒が多く厚いので、明るくみえる。同じ対流雲でも発達すると、雲が厚くなり反射強度が増す。すなわち、CuよりCg、CgよりCbのほうが明るい。従って、下層で形成される雲は上層

* 2.1, 2.2, 2.3 鈴木 和史 2.4 田中 武夫 2.5 淵田 信敏

で形成される雲より明るいことが多い。すなわちStのほうがCiより明るい。しかし、春先に大陸で多く出現する非常に濃密なCiは明るくみえるので、他の雲との区別に注意が必要である。また薄いCiでは、Ciを透過して下に存在する中・下層雲がみえることがある。この場合は下に存在する雲からの反射が加わり、Ci単独より明るくみえる。

赤外画像では、雲頂高度の高い雲は明るく、雲頂高度の低い雲は暗くみえる。一般に層状雲の場合、Ciが最も明るく、ついでCm、Stの順の明るさとなる。しかし薄い雲の場合、雲からの放射の他に雲より下の放射も雲層を透過して観測されるので、実際の雲頂温度より高温となり、雲頂高度の判断を誤ることがある。例えばCiは薄い雲層であることが多く、赤外画像だけではCmと間違えやすい。逆に非常に濃密なCiはCbと同程度の雲頂温度を持ち、Cbとの識別が難しいことがある。雲頂高度が低いStは、地面温度との温度差が小さく、赤外画像だけでの検出は難しい。対流雲では、発達程度は雲頂高度で分類できる。つまり発達した対流雲の雲頂高度はCbが高く、次いでCgが続き、発達程度が低いCuは最も低い。

可視画像と赤外画像による雲型判別ダイアグラムを図2-3-1に示す。この図は上述した関係を定性的に示したものである。

2.3.2 形状による判別

層状雲は、一様な雲頂高度を持つかなりの広がりを持った雲域として存在しやすい。例えばStは一定な雲頂高度をしているので、雲縁は地形の等高線に沿った形状をすることが多い。Ciは、筋状(Ciストリーク)、Cbから吹き出す羽毛状(かなとこ巻雲)、流れに直交する小さな雲列(トランスバースライン)などの特徴的な形状を示す。

対流雲は比較的小さな雲の塊として存在することが多い。対流雲は発達が進むにつれ、雲の厚みを増したり併合したりするので、衛星からみると雲域面積は増大する。したがって個々の雲の大きさは一般にCb、Cg、Cuの順となる。対流雲は、列状・テーパリング状・セル状などの特徴的なパターンを示す。

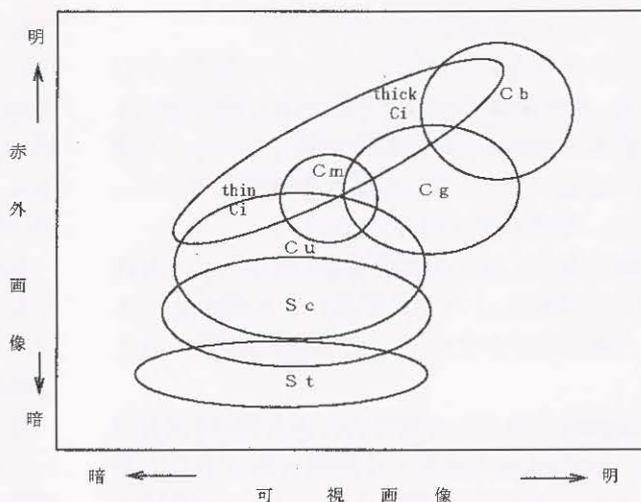


図2-3-1 雲型判別ダイアグラム

対流雲や下層雲の雲縁は、くっきりと明瞭である。一方上層雲の雲縁は、上層の強い風の影響で、毛羽だったりほつれた様子をしていて不明瞭である。

2.3.3 きめによる判別

可視画像は他の画像に比べ空間分解能が細かいので、雲表面の細かなきめ(texture)を知ることができる。雲表面の状態は、太陽光が斜めからあたっている方が凹凸による影が現れて、わかりやすい。

層状雲は滑らかで一様な雲表面をしている。一方対流雲の雲表面は凹凸がありごつごつしている。

2.3.4 動きによる判別

大気中では一般に上層ほど風が強いため、上層の雲の動きは速く下層の雲は遅い。従ってSt、Sc、Cuなど下層雲はCiに比べ動きが遅い。CbやCgのように背が高く厚い雲は、おおよそ雲層の平均風速で移動するので、Ciに比べ動きは遅い。

2.3.5 時間変化による判別

対流雲はライフタイムが短いので、短時間で雲の形状や雲頂高度が変化する。一方層状雲は雲の形状や雲頂高度の変化は小さい。例えばCbとCiを比べたとき、形状やパターンに着目して時間変化の少ないほうがCiとなる。

2.4 雲型判別の事例

図2-4-1a,bに雲型判別の例を示す。

華北から黄海・九州西海上にかかる雲域AはCiである。赤外面像では白色で幅のある雲の帯にみえ、雲域の走向は上層の風向に沿っている。可視画像ではCiの下にある下層雲が透けてみえる。従って、北側は薄いCiである。

大陸の華中に見える雲域BはCmである。赤外面像では雲域Aより温度が高いため明灰色にみえ、一様な広がりをもつ。可視画像では白くみえる。

先島諸島付近から台湾付近にある雲域CはStである。赤外面像では周りの雲域と比べさらに黒く、海面とほぼ同じ温度となり、ほとんど区別がつかない。可視画像では明灰色にみえ、雲域の表面は滑らかにみえる。

朝鮮半島の東側に張り付いている雲域DはScである。赤外面像では暗灰色にみえる。可視画像では明灰色にみえ、Cに比べてこぼこした表面を持ち、境界ははっきりしている。

日本海北部及び沿海州付近にある雲域EはCuである。赤外面像では雲域DのScよりも明るい明灰色にみえる。可視画像では明白色にみえ、形状も塊状をし、雲縁は明瞭である。

日本の東にある雲域F（三角印）はCbである。赤外面像では西側の雲縁が明瞭であるが東側は上

層の風に流され不明瞭となっている。可視画像では最も白くみえ形状は塊状をしている。このCbの南西方向にはCgがライン状に連なっている雲域G（代表例を三角印で示した）がみえる。赤外面像では、Cgに対する低温域が間隔をおいて並び塊状である。可視画像ではCuラインの中で間隔をおいた明白色の塊状としてみえる。

赤外面像では共に白くみえるCbとCiとを区別する方法を述べる。

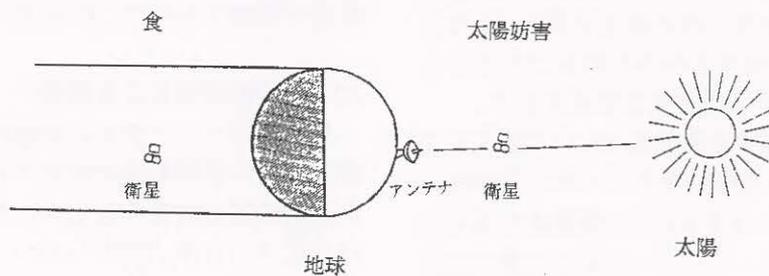
CiとCbの区別は各雲の形状、移動速度の違い及び総観場等を考慮して行う。

図2-4-1a, bでは、Cbは日本の東海上にある（F—三角印）。赤外面像では塊状をし、西側の雲縁が明瞭である。東側は上層の風に流され不明瞭となっている。速度も周りの雲域から比べると遅いことが動画から確認できる。Cbは中・下層の平均風速の影響を受けるため、移動はCiより遅いが、形状の変化は速い。これと似たような雲域Hが日本列島にかかっているが、これはCiである。雲域の速度が速いことから判断できる。また、赤外面像で華北に見える粒状の雲IもCiである。これも形状及び雲頂温度からCbと間違えやすい事例である。この場合は「朝鮮半島付近に上層のトラフがありトラフの後面ではCbは発生しにくい」「雲域の速度がかなり速い」「形状の時間的変化が少ない」ことから、Ciと判別できる。

太陽妨害防止運用

太陽とひまわりと地上局のアンテナが一直線に並ぶとき、つまり、地上局から見て太陽とひまわりが同じ方向に見えるとき、太陽から放射される雑音によりひまわりからの電波が妨害され、信号を正常に受信出来なくなる（付図1）。この現象は、春分および秋分の頃それぞれ約6日間発生する。この場合、太陽妨害防止運用として、03UTCの観測を中止する（鈴木和史）。

【参考文献】 木川誠一郎(1989): 太陽妨害の予測、気象衛星センター技術報告, 第19号, 37-42.



付図1 太陽妨害時と食時の地球・衛星・太陽の位置

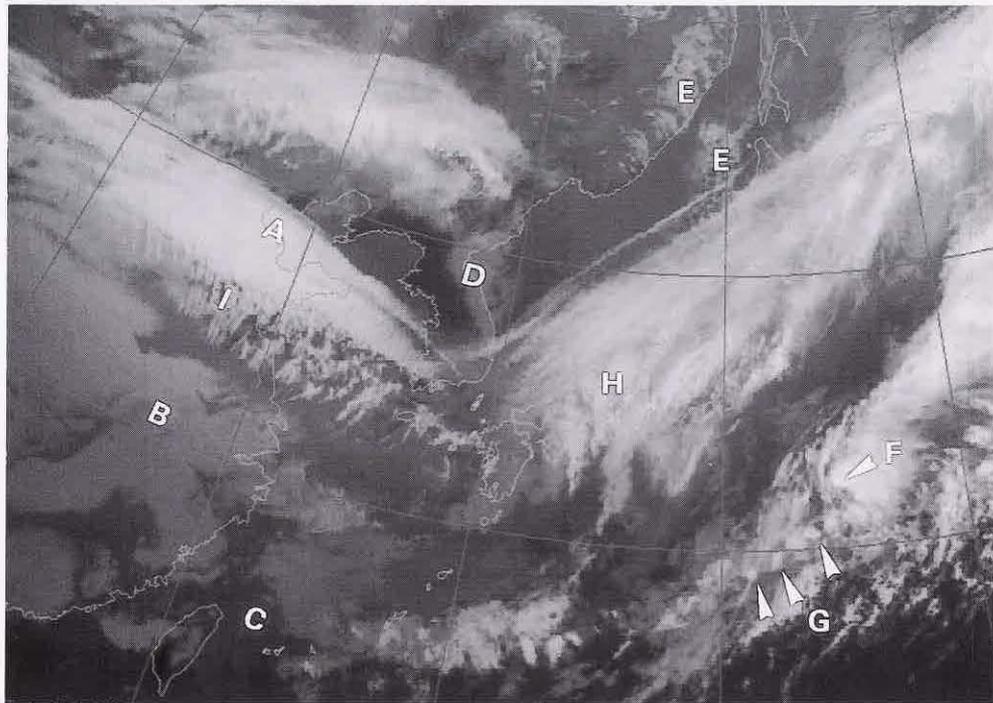


図 2-4-1a 雲型判別の赤外画像 1999年3月20日03UTC

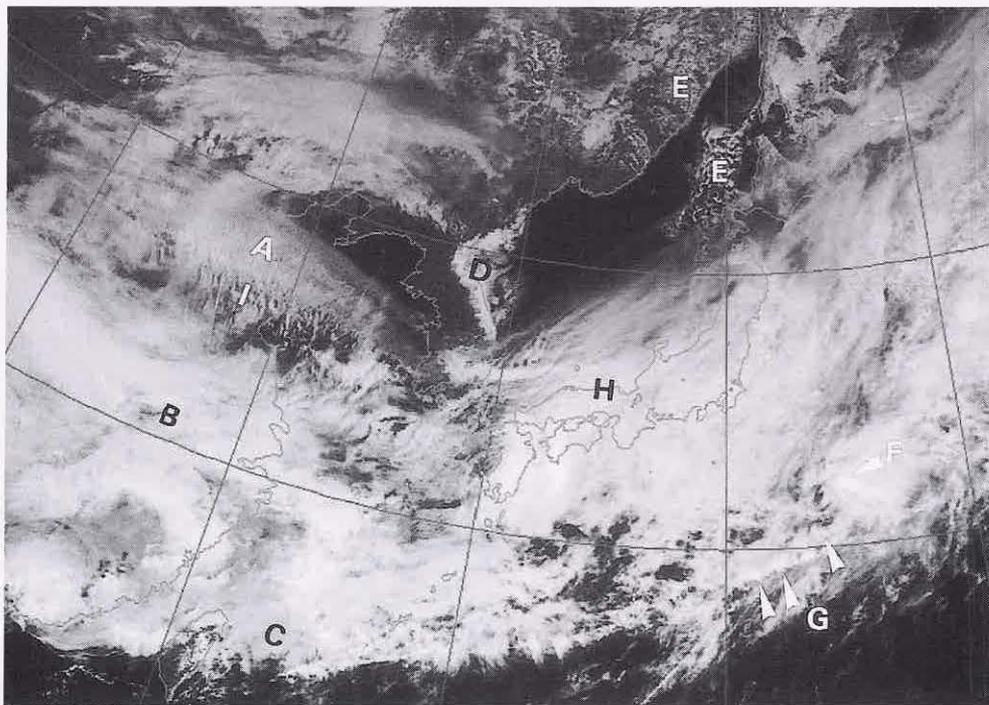


図 2-4-1b 雲型判別の可視画像 1999年3月20日03UTC

2.5 気象衛星で判別できる雲型と地上から観測される雲形

ここでは、衛星から判別できる雲型と地上から観測される雲形がどのようにみえるか、比較をしながら説明する。

地上気象観測法では、雲底高度とその雲のきめによって雲形を10種類に分類している。一方、衛星では遙か地球の上空から雲を観測しているため、赤外画像で観測される雲の雲頂温度・雲のきめや、可視画像で観測される太陽の反射輝度・雲

のきめによって雲型を判別している。この中で、地上から観測される巻積雲や高積雲の雲細胞は衛星のセンサーの分解能より小さいので、衛星画像で巻層雲・巻雲、高層雲・乱層雲は判別することはできない。

その対比を表2-5-1に示す。

以下に、衛星画像（赤外画像・可視画像）からみられる雲型と地上からみた代表的な雲形を掲載して、比較を行う。

表2-5-1 気象衛星から判別できる雲型と地上から観測される雲形

気象衛星から判別できる雲型と略語

雲型判別	用いる略語
上層雲	Ci
中層雲	Cm
層積雲	Sc
層雲・霧	St
積雲	Cu
雄大積雲	Cg
積乱雲	Cb

地上から観測される雲形と略語

層	地上から観測される雲形	略語
上層	巻雲	Cirrus Ci
	巻積雲	Cirrocumulus Cc
	巻層雲	Cirrostratus Cs
中層	高積雲	Alto cumulus Ac
	高層雲	Altostratus As
	乱層雲	Nimbostratus Ns
下層	層積雲	Stratocumulus Sc
	層雲	Stratus St
	積雲	Cumulus Cu
	積乱雲	Cumulonimbus Cb

ITCZ（熱帯収束帯、Intertropical Convergence Zone）
ITCZは、北緯5～15度付近に存在する下層の収束域で雲量・雨量が多い。衛星では活発な対流雲が連なる雲の帯として認識できる。1000～2000kmほどの間隔で活発な領域を持ち、その中の一部が台風に発達することがある。付図1では、ITCZに対応する雲が日付変更線の東からフィリピン付近に伸びている。所々に活発な雲の集団が見られ、矢印で示した台風や熱帯低気圧はこのような雲の集団から発生・発達し、北上したものである。ITCZに伴う雲は、更に西に伸びてベンガル湾のモンスーンに伴う雲の帯に連なっている。なお、衛星画像で見るとITCZは雲の帯として常に存在するのではなく、明瞭になったりどぎれたりするなど雲量の変動は大きい（鈴木和史）。



付図1 ITCZ（可視画像 1997年8月21日03UTC）

2.5.1 Ciのみの雲域



図2-5-1a 地上から見た雲の写真（鳥取県鳥取市） 1984年7月9日0801JST
 <地上から観測される雲形> 地上気象観測法（別冊）：1989
 上層雲 巻雲と巻層雲 (Ci and Cs) CL=0 CM=3 CH=5

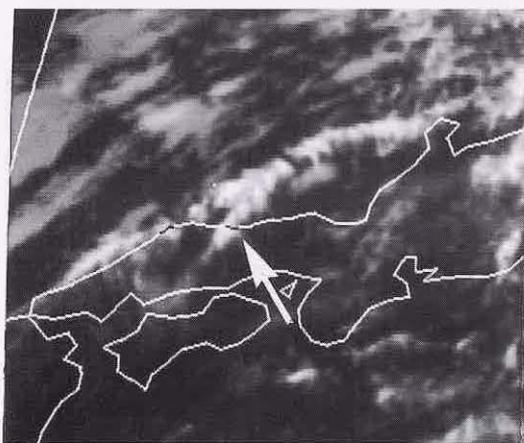


図2-5-1b 赤外画像

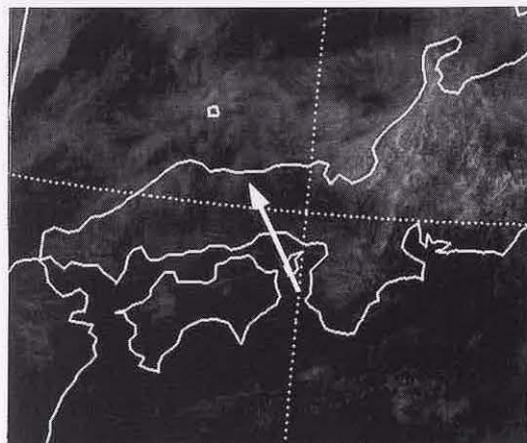


図2-5-1c 可視画像

共に 1984年7月9日0900JST (矢印：鳥取県鳥取市付近)

<衛星から観測される雲型> Ciのみの雲域

ここで、鳥取県鳥取市付近（矢印）に注目する。赤外画像からみると、山陰地方から能登半島にかけて筋状のCiが伸びている。鳥取市付近には、この筋状のCiの西端が掛かっているだけで他の雲

は解析できない。可視画像でも、陸地が透けてみえる。この場合、地上観測も衛星画像も同じ上層雲として判別している。

2.5.2 CiとCmが重なった雲域



図2-5-2a 地上から見た雲の写真（鳥取県鳥取市） 1978年9月22日1111JST
 <地上から観測される雲形> 地上気象観測法（別冊）：1989
 半透明状の高積雲（Ac） CL=0 CM=3 CH=0

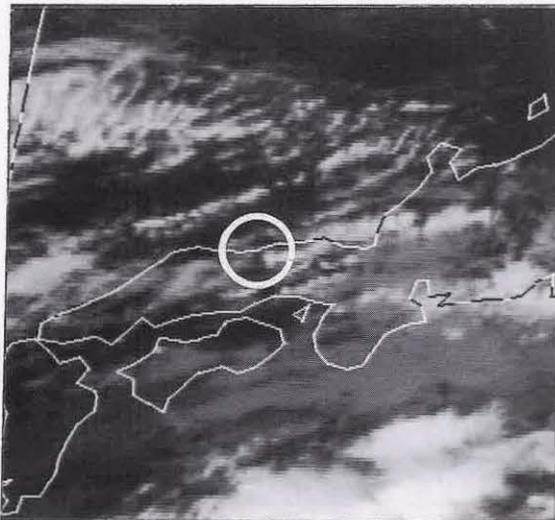


図2-5-2b 赤外画像
 共に1978年9月22日1200JST（○印：鳥取県鳥取市付近）
 <衛星から観測される雲型> CiとCmが重なった雲域

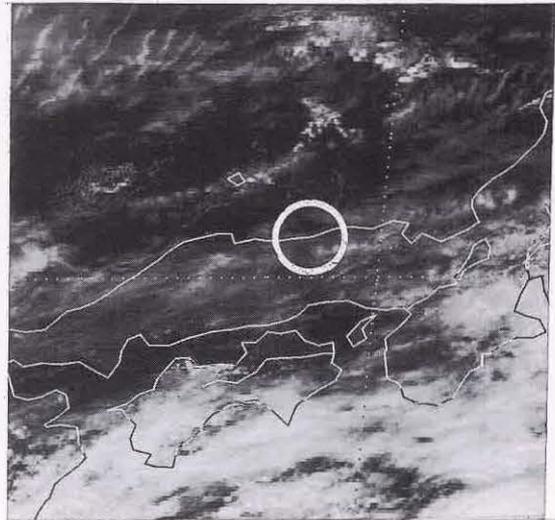


図2-5-2c 可視画像

ここで、鳥取県鳥取市付近（○印）に注目する。鳥取市付近には東シナ海から東進してきたCiとCmがかかっている。可視画像からみると、その雲域は厚いものでないことがわかる。また、下層

雲も解析できない。

この場合、地上観測では単一層の高積雲を観測しているが、全天にわたって高積雲が広がっているため上層の雲は観測されていない。

2.5.3 CuとScが共存する雲域



図 2-5-3a 地上から見た雲の写真（東京都清瀬市） 1983年8月19日 1740JST

<地上から観測される雲形> 地上気象観測法（別冊）：1989

中層雲と下層雲 Ac and Cu

半透明状の高積雲（レンズ状） CL=2 CM=4 CH=0

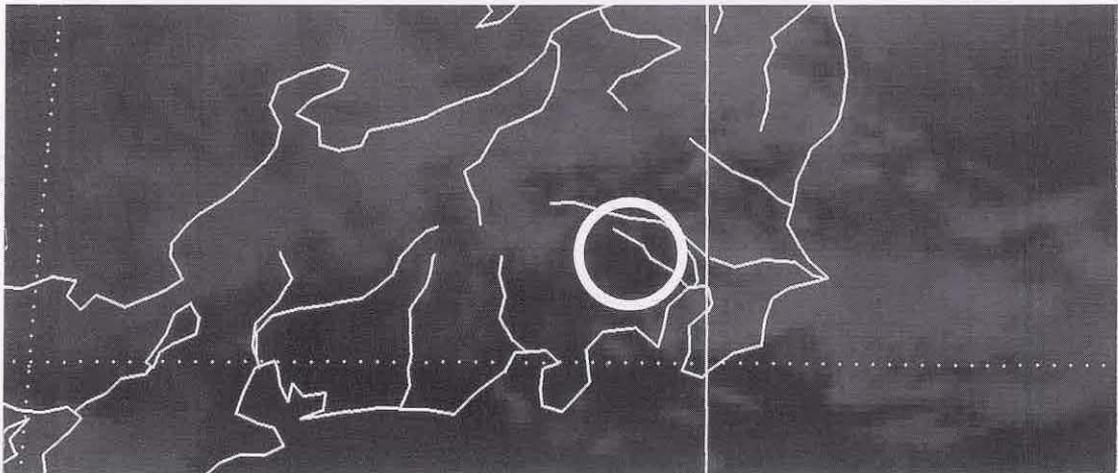


図 2-5-3b 赤外画像 1983年8月19日 1800JST

（○印：東京都清瀬市付近）

<衛星から観測される雲型> CuとScが共存する雲域

ここで、東京都清瀬市付近（○印）に注目する。衛星画像からみると、CuとScの混在した雲域が東京付近を覆っているが厚い雲域ではない。

地上観測では高積雲を観測しているが、高積雲

の雲量は疎らで隙間も多い。このように衛星の放射計の分解能より小さく疎らな雲域の場合、衛星画像では雲の隙間から地上の放射も加わり雲頂高度も低く見積もられる。

2.5.4 Ciのみの雲域



図2-5-4a 地上から見た雲の写真（宮城県仙台市） 1981年9月6日1710JST
 <地上から観測される雲形> 地上気象観測法（別冊）：1989
 中層雲 Ac 半透明状の高積雲 CL=0 CM=5 CH=0

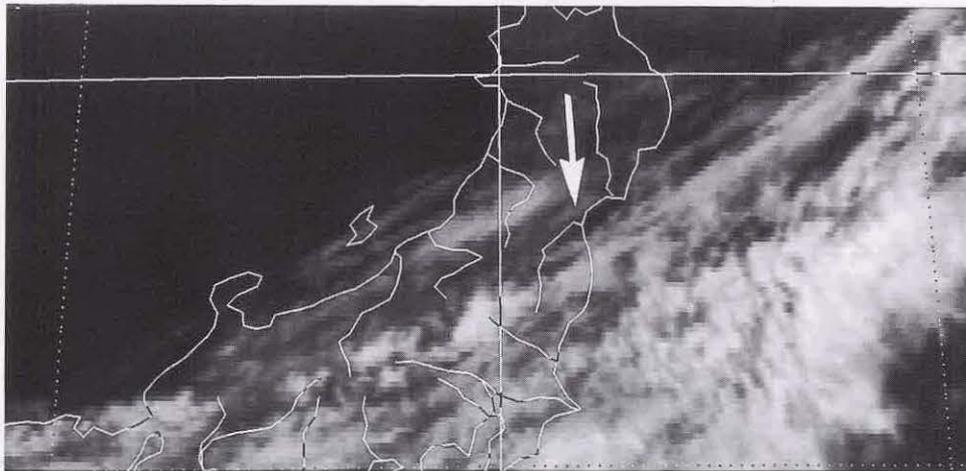


図2-5-4b 赤外面像 1981年9月6日1800JST
 (矢印：宮城県仙台市付近)
 <衛星から観測される雲型> Ciのみの雲域

ここで、宮城県仙台市付近（矢印）に注目する。衛星画像からみると上・中層雲主体の雲バンドが日本の東海上から房総半島・東海道沖に伸びている。仙台付近はこの雲バンドの北側を流れる上層のジェット気流に伴うCiがかかっている。この

場合、地上観測では中層雲と観測しており、衛星による判別と異なっているが、目視と衛星との観測方法の違いでこのような例はある。特にCiとCmの判別は衛星からも難しい。

2.5.5 Scのみの雲域



図2-5-5a 地上から見た雲の写真（東京都千代田区） 1984年11月12日
 <地上から観測される雲形> 地上気象観測法（別冊）：1989
 積雲から変化した層積雲以外の層積雲（Sc） CL-5 CM- / CH- /

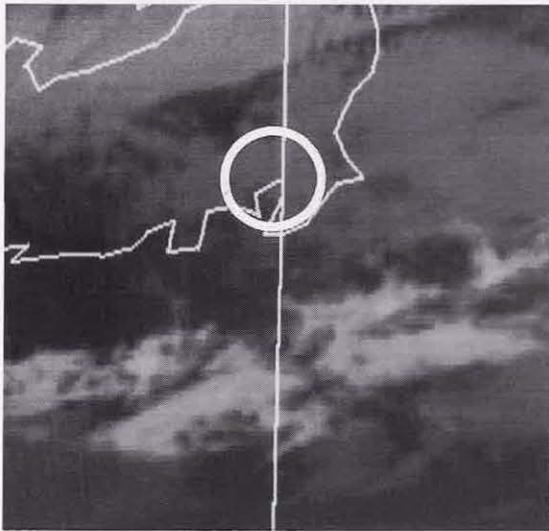


図2-5-5b 赤外画像

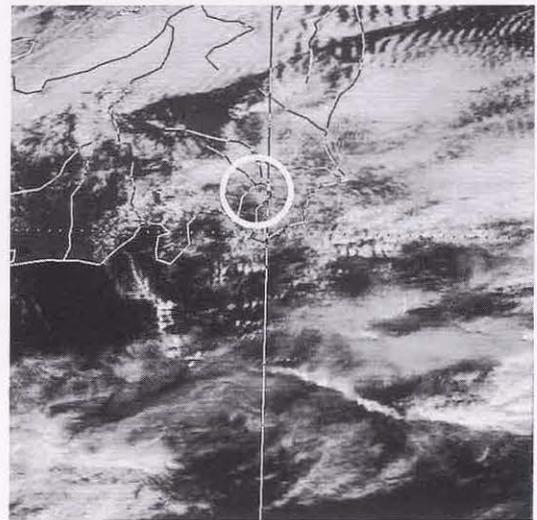


図2-5-5c 可視画像

共に1984年11月12日1200JST（○印：東京都付近）
 <衛星から観測される雲型> Scのみの雲域

ここで、東京都付近（○印）に注目する。衛星画像からみると東京都付近はScに覆われている。

下層雲の場合は、地上観測と衛星観測の雲型判別は比較的良好。

2.5.6 Cb、Cg、Cuが共存する雲域



図 2-5-6a 地上から見た雲の写真（東京都清瀬市） 1985年8月10日 1810JST
 <地上から観測される雲形> 地上気象観測法(別冊)：1989
 多毛状の積乱雲 (Cb) CL=9 CM=0 CH=3

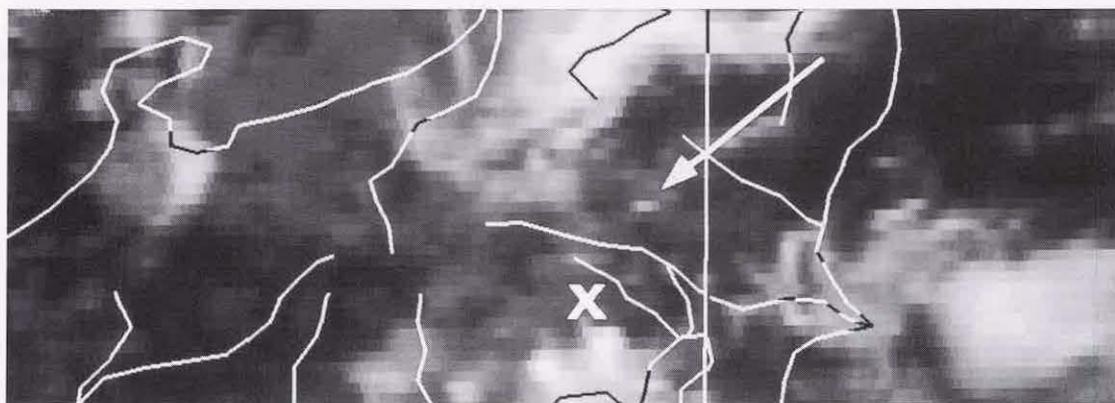


図 2-5-6b 赤外画像 1985年8月10日 1800JST
 (X印：東京都清瀬市付近)
 <衛星から観測される雲型> Cb、Cg、Cuが共存する雲域

ここで、東京都清瀬市付近(X印)に注目する。衛星画像からみると、東海地方や関東地方内陸部にはCbが発生しており栃木県南部付近にも小さなCbの塊(矢印)が解析できる。

地上観測では、東京都清瀬市から北北東の栃木

県付近のCbをみたものである(距離にして約60km離れている)。Cbの頭部にはかなとこ状の巻雲が広がっている。この手前にも雄大積雲が広がっている。

2.5.7 CuとCgが共存する雲域



図 2-5-7a 地上から見た雲の写真（東京都大島町元町） 1994年12月19日
 <地上から観測される雲形> 東管技術ニュース 1995(No.119)
 積雲(Cu) CL=2 CM=× CH=×

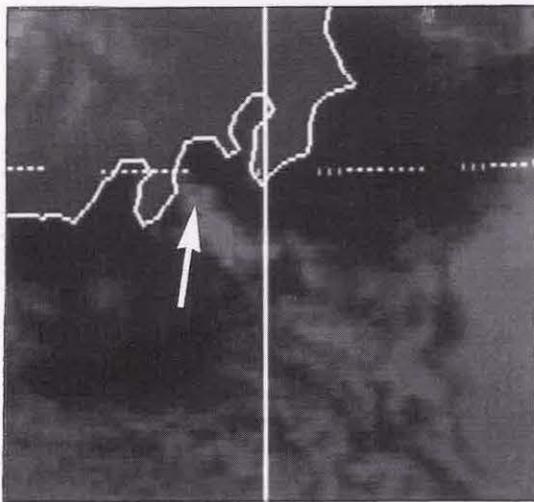


図 2-5-7b 赤外画像

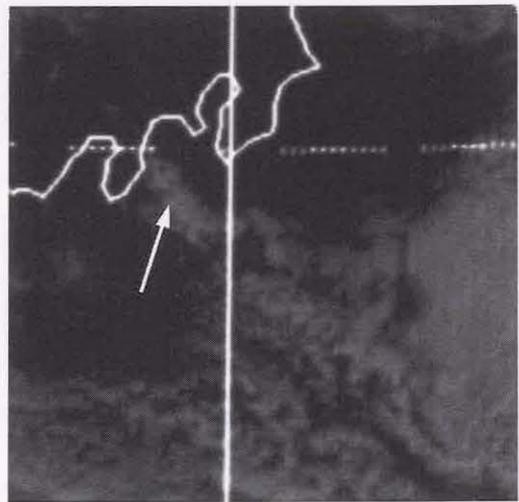


図 2-5-7c 可視画像

共に1994年12月19日（矢印：東京都大島町元町）
 <衛星から観測される雲型> CuとCgが共存する雲域

地上からみた写真と比較するために大島付近（矢印）に注目する。衛星画像からみると、伊豆半島の東海上には対流雲列が伸び、大島はこの下にある。この対流雲列の雲頂の輝度から判別する

と、Cuだけの雲列ではなく、Cuより発達したCgが共存している。このことから地上からみた写真で観測できる竜巻の発生と符合する。