

2. 気象衛星による雲型判別

2.1. 衛星画像による雲型判別の特徴

衛星は、地上から目視で雲形を観察する場合と異なり、遙か地球の上空から雲頂の様子を観測している。また、衛星は、雲を下から目視する地上観測と異なり、地球の上空から雲頂の様子を観測する。そして雲と観測者の距離（100～10,000m のオーダー）から識別する地上観測に比べると、遙かに離れた衛星からの観測では識別できる最小のスケールにおいて劣る。これらの理由により地上から見た雲のタイプと衛星で判別できる雲のタイプとは分類の仕方が異なるのが特徴である。分類において雲のタイプの名称については便宜上、地上観測における雲のタイプ（雲形）と成因や構造的に類似したものを衛星画像での判別による雲のタイプへ準拠して適用している。なお、以後衛星から判別する雲のタイプを「雲型」、地上から見た雲のタイプを「雲形」として表記を区別する。

2.2. 雲型の分類

衛星による雲型判別は、一般に Ci（上層雲）、Cm（中層雲）、St（層雲／霧）、Cb（積乱雲）、Cg（雄大積雲）、Cu（積雲）、Sc（層積雲）の7種類に分類する（表 2-2-1）。これは地上気象観測の分類と異なるが、衛星観測特有の観点から慣例としてこのように記述する。また、便宜的に Ci は上層雲（High-level cloud）なので CH、Cm は中層雲（mid-level cloud）なので CM と表記する場合がある。

雲型は、雲の形状、成因、広がりの方角の観点では、層状雲（Ci、Cm、St）と対流雲（Cb、Cg、Cu）とに分類される。Sc は層状雲と対流雲との中間的な性格を持つため、どちらにも分類しない。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く、「ひとまとまりの広がりを持つ雲域」「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「輪郭のはっきりした塊状の雲域」「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高度の観点で上・中・下層雲と分類することもできる。ただし、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。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。なお、雲頂高度は前章で言及したように、赤外画像における雲域の輝度温度と、客観解析値や数値予報値等を用いた気温の鉛直構造の推定によって得ることができる。上層雲（Ci）、中層雲（Cm）のほか、下層雲には Cu、St、Sc を含む。Cg、Cb は鉛直に発達し、複数の高度分類にまたがることから、一般にこうした分類に含めない。

表 2-2-1 衛星画像による雲型

雲型		分類	
上層雲	Ci	層状雲	上層雲
中層雲	Cm		中層雲
層雲/霧	St		下層雲
層積雲	Sc	----	
積雲	Cu	対流雲	----
雄大積雲	Cg		
積乱雲	Cb		

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・赤外画像のほか近赤外・水蒸気・赤外差分画像も含めた雲型判別が用いられる。この節では、可視画像と赤外画像を利用した、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

可視画像は、反射された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、明るく見える。

対流雲でも、発達するほど雲が厚くなり反射強度が増し、Cu より Cg、Cg より Cb のほうが明るい。また、下層で形成される雲は上層で形成される雲より明るいことが多く、St、Sc および Cu のほうが Ci より明るい。

赤外画像は、温度の低い地点は明るく、温度の高い地点は暗く見える。一般に雲頂高度の高い雲ほど温度は低くなるため、層状雲の中では 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、雲からの放射に加え、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、地表面との温度差が小さく、赤外画像だけでは検出は難しい。対流雲では、発達の程度は雲頂高度で分類でき、赤外画像では輝度温度の低さ（画像での明るさ）に対応する。つまり発達した対流雲の雲頂高度は Cb が高く、赤外画像でもっとも明るい。次いで Cg が続き、発達程度が低い Cu は雲頂高度が最も低く、赤外画像では暗い。

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。

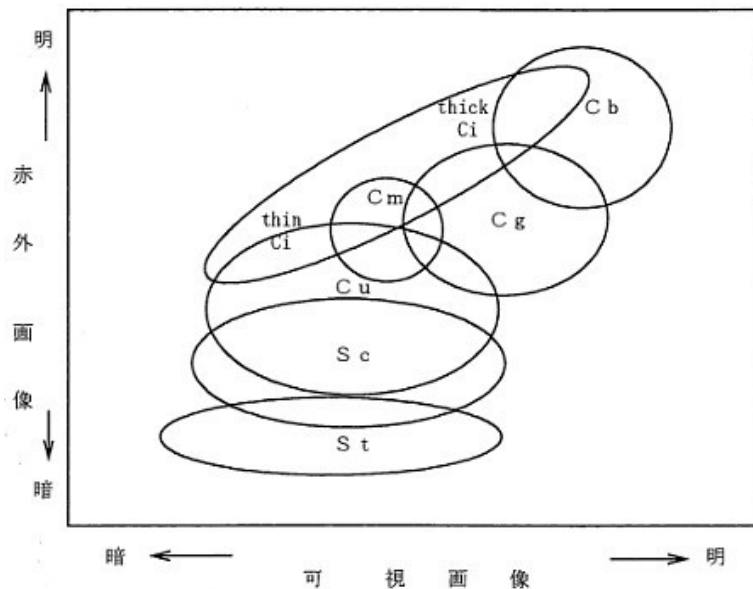


図 2-3-1 雲型判別ダイアグラム

2.3.2. 形状による判別

層状性の雲は一様な雲頂高度を持ち、かなりの広がりを持った雲域として存在しやすい。St は雲頂高度が一様なので、雲縁が陸上の山地等に接している場合、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。

対流雲は小さな雲の塊として存在することが多く、発達が進むにつれ、雲の厚みを増し併合するので、衛星から見ると雲域の面積は増大する。個々の雲の大きさについては一般に大きい順に Cb、Cg、Cu となる。雲列・にんじん状パターン・セル状パターンなどの特徴的なパターンを示す。

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立ったり、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

可視画像は他の画種に比べ解像度が高いので、雲の表面の細かなきめ(texture)を把握するのに適している。

層状雲は滑らかで一様な表面をしている。一方、対流雲の表面は凹凸がありごつごつしている。なお、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、雲の表面の状態がわかりやすい。

2.3.4. 動きによる判別

対流圏内では一般に上層ほど風が強いため、上層の雲は動きが速く下層の雲は遅い。従って St、Sc、Cu などの下層雲は Ci に比べ動きが遅い。Cb や Cg のように背が高く厚い雲も、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

2.4.1. 可視画像と赤外画像による判別

図 2-4-1 及び図 2-4-2 に雲型判別の例を示す。A~G は、図中の記号に該当する。なお、図中の記号 H,I については 2.4.3 節で説明する。

- (A) 北海道北部からオホーツク海にかけて、南西から北東方向にひろがる雲域Aは Ci である。赤外画像では明白色に見え、雲域の走向は別資料から確認したこの時の上層の風向に沿っている。赤外画像では白く見えるが、可視画像では Ci の下にある下層雲が透けて見える。したがって薄い Ci である。
- (B) 沖縄の南東海上で南西から北東に広がる雲域Bは Cm である。赤外画像では雲域Aより温度が高いため明灰色に見え、一様な広がりをもつ。可視画像では白く見える。雲域の走向は別資料から確認したこの時の中層の風向に沿っている。
- (C) 日本の東、東経 150 度付近にある雲域Cは St である。赤外画像では周りの雲域と比べて黒く、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見え、雲域の表面は滑らかに見える。
- (D) 九州の南西海上、東シナ海に広がる雲域Dは Sc である。赤外画像では暗灰色に見える。可視画像では明灰色に見え、境界ははっきりしている。

2. 気象衛星による雲型判別

- (E) 黄海から東シナ海にかけて、一部筋状の雲域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見える。可視画像では明白色に見え、形状も塊状を成し、雲縁は明瞭である。
- (F) 小笠原諸島近海にある雲域F（矢印）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見え、形状は塊状である。
- (G) 黄海付近に東西に伸びる帯状の雲域Gは、雲域Eと同様に、寒気に伴う雲域であるが、帯状の雲域は雲域Eの Cu よりも発達しており、Cb や Cg を含む雲域である。赤外面像や可視画像では、雲域Eよりも白く見える。

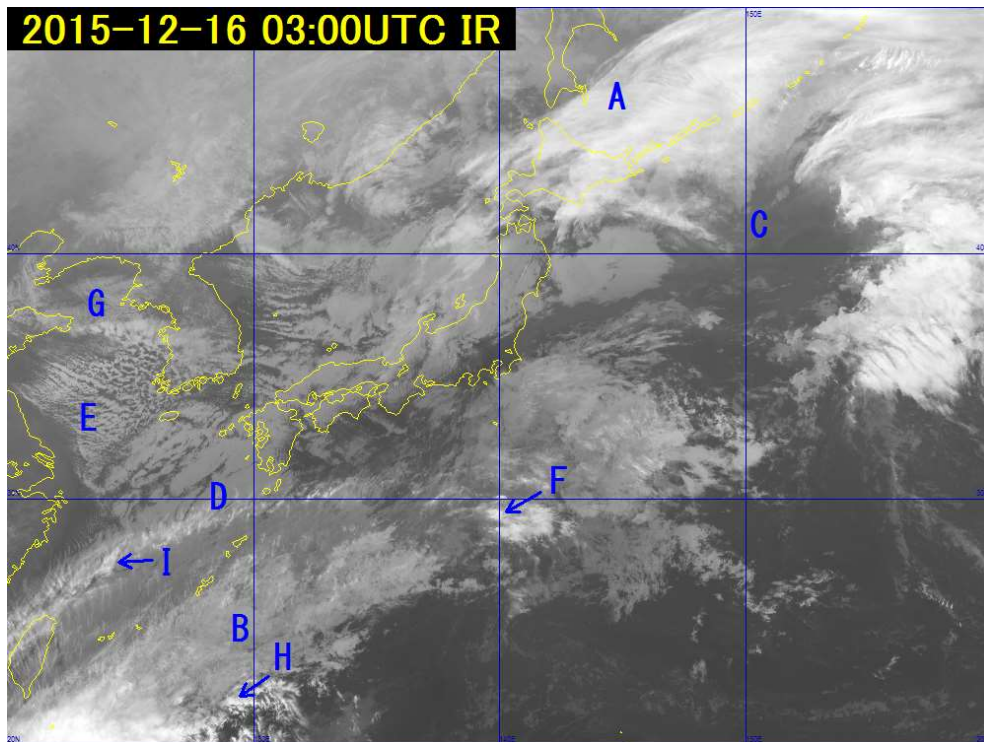


図 2-4-1 雲型判別の赤外面像 2015 年 12 月 16 日 03UTC

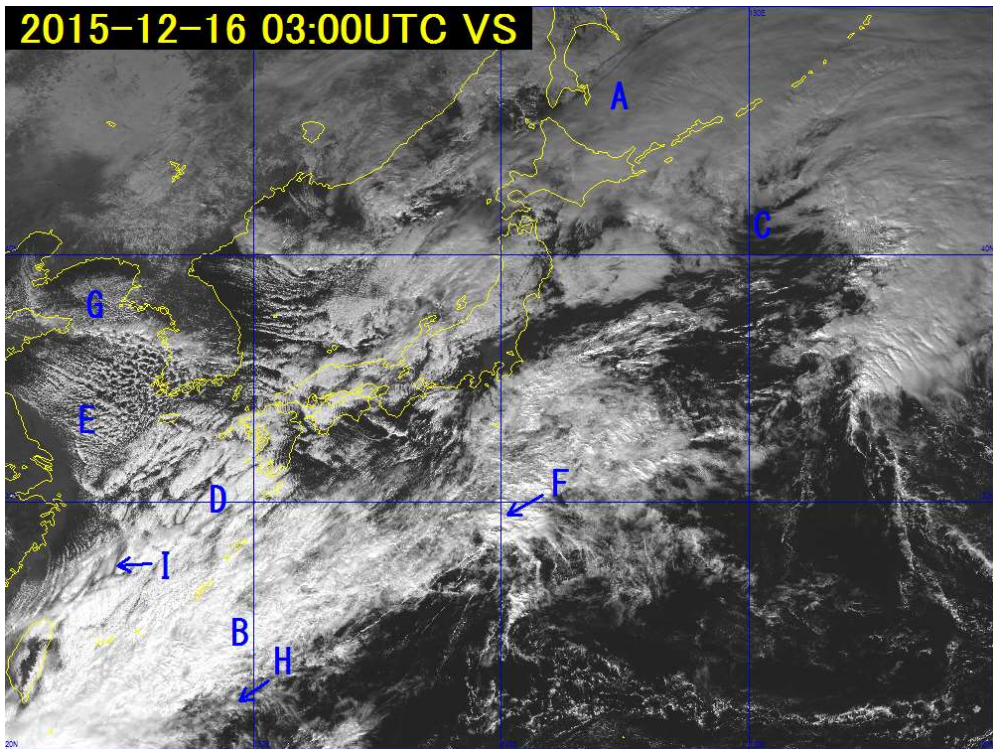


図 2-4-2 雲型判別の可視画像 2015 年 12 月 16 日 03UTC

2.4.2. Cb 及び Cg

図 2-4-3 及び図 2-4-4 に Cb 及び Cg の例を示す。

(K) 日本の南にある雲域 K (矢印) は Cb である。可視画像では白く見え、形状は塊状をしている。この Cb の西方向には Cg がライン状に連なっている雲域 J (矢印) が見える。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。可視画像ではライン状の対流雲列の中で、間隔をおいた明白色の塊状として見える。

(L・M) 雲域 L や雲域 M も Cb を含む雲域である。但し、雲域の全領域が Cb ではなく一部に Ci も含む。どの領域までが Cb なのかを判断するのは難しいが、赤外面像や可視画像の明るさや可視画像のきめを周りと比較することである程度判断することができる。

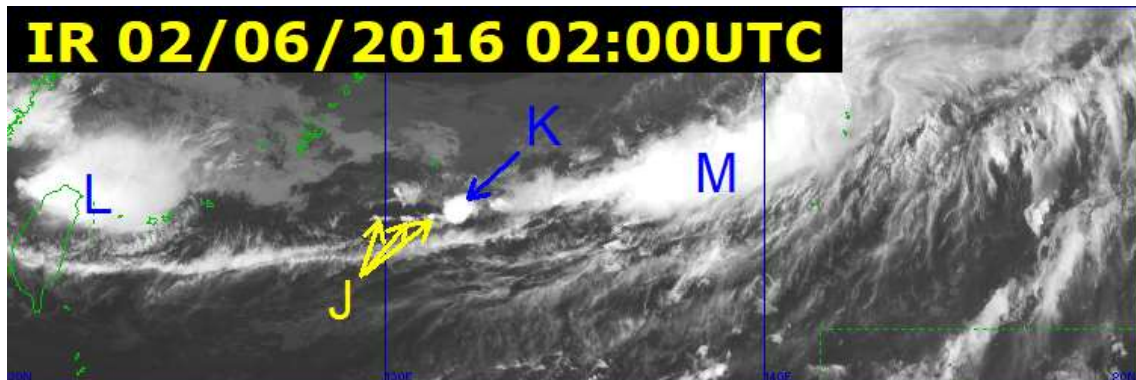


図 2-4-3 雲型判別の赤外面像 2016 年 6 月 2 日 02UTC

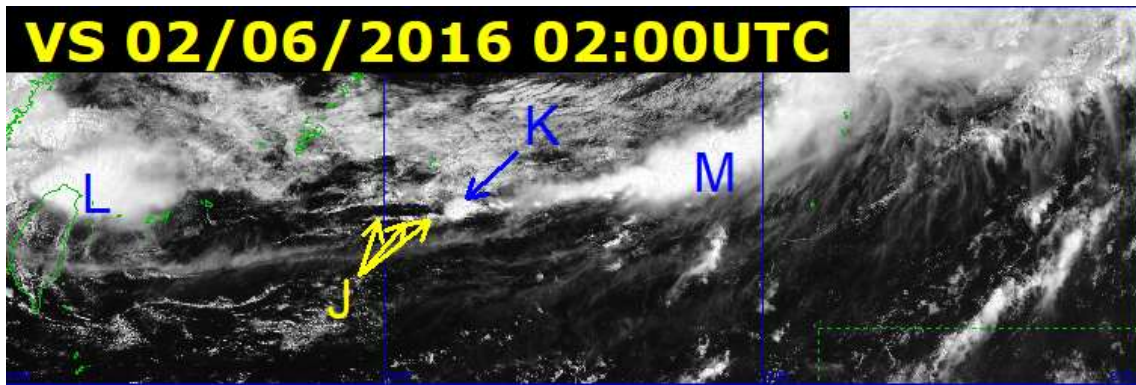


図 2-4-4 雲型判別の可視画像 2016年6月2日 02UTC

2.4.3. Ci と Cb の区別

Ci と Cb は、上述した各雲の形状、移動速度の違い及び総観場等を考慮して区別する。

(F・I・H) 図 2-4-1 及び図 2-4-2 において日本の東海上にある雲域 F (矢印) は、前述したとおり Cb である。これは動画で見ると、周りの雲域と比べ移動速度が遅いことが確認できる。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 I (矢印) が東シナ海に見られるが、これは Ci である。雲域の移動速度が速いことから判断できる。また、赤外面像で沖縄の南に見える粒状の雲域 H (矢印) も Ci である。両者とも形状及び雲頂温度から Cb と間違えやすい事例である。赤外面像だけでなく可視画像も利用し、形状の時間的変化が少ないことから、Ci と判別できる。

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、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がどのように識別されるか、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外観によって雲形を 10 種類に分類している。一方、気象衛星では遙か地球の上空から雲を観測しているため、赤外面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光の反射強度・雲のきめによって雲型を判別している。ただし、先述のように衛星画像と地上観測とでは識別できる最小のスケールが異なるため、分類できる雲パターンも異なっており、巻層雲・巻雲、高層雲・乱層雲の判別は衛星画像上では困難である。

このため衛星画像では、上層雲と中層雲はそれぞれ一種類の雲として観測している。さらに、全体を層状性の雲と対流性の雲とその両方の性格を持った雲とに分類し計 7 種類に分けている。層状性の雲は、雲頂高度の高い方から上層雲 (Ci)、中層雲 (Cm)、層雲・霧 (St) に分ける。対流性の雲は背の高い順に積乱雲 (Cb)、雄大積雲 (Cg)、積雲 (Cu) に分類する。

Cg は衛星解析で使用する雲型で、地上気象観測における雄大積雲または無毛積乱雲に相当する雲である。層積雲 (Sc) は層状性と対流性の中間的な性格を持つ。その対比を表 2-5-1 に示す。

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

層	雲型判別	略語(衛星画像)	地上から観測される雲形		略語(地上観測)
上層	上層雲	Ci	巻雲	Cirrus	Ci
			巻積雲	Cirrocumulus	Cc
			巻層雲	Cirrostratus	Cs
中層	中層雲	Cm	高積雲	Alto cumulus	Ac
			高層雲	Altostratus	As
			乱層雲	Nimbostratus	Ns
下層	層積雲	Sc	層積雲	Stratocumulus	Sc
	層雲/霧	St	層雲	Stratus	St
(対流雲)	積雲	Cu	積雲	Cumulus	Cu
	雄大積雲	Cg			
	積乱雲	Cb	積乱雲	Cumulonimbus	Cb

以下に、地上から見た雲写真とほぼ同時刻の衛星画像（赤外面像・可視画像）を掲載して、比較を行う。

2.5.1. Ci のみの雲域（衛星から判別される雲型）

2.5.1.1 事例1

赤外面像（図 2-5-1）と可視画像（図 2-5-2）では関東平野にほとんど雲は見られないが、富士山付近から気象衛星センターのやや南まで東西に伸びる帯状の雲域が見られる。この雲域は赤外面像では比較的白く見えるが、可視画像では灰色に見え、陸地が透けて見えるので、薄い上層雲 Ci と判断できる。地上から見た写真（図 2-5-3）でも、気象衛星センター上空は晴れており、西から南に上層雲が広がっている。この例の場合、地上観測も衛星画像も同じ上層雲として判別できる。

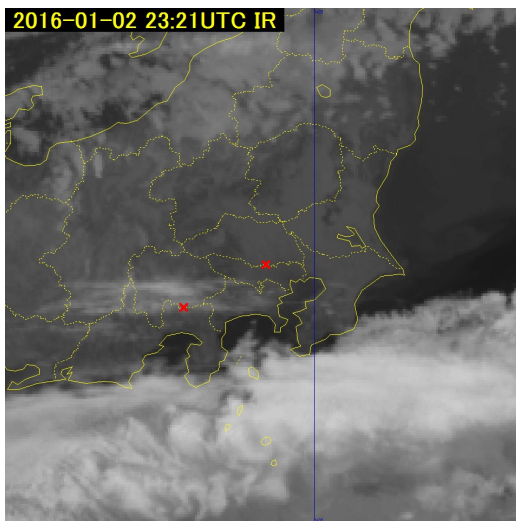


図 2-5-1 赤外面像 2016年1月2日 23:21UTC
(×印：富士山と気象衛星センター)

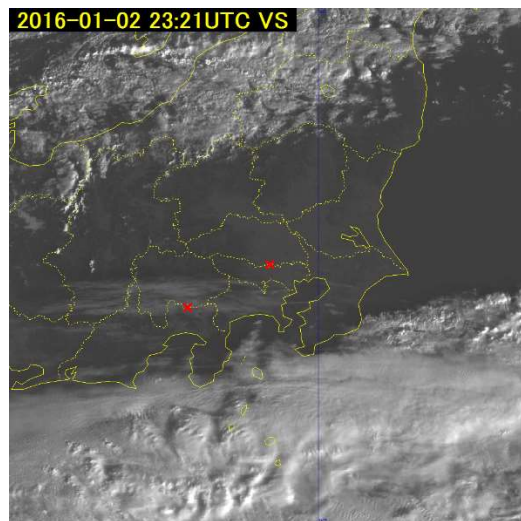


図 2-5-2 可視画像 2016年1月2日 23:21UTC
(×印：富士山と気象衛星センター)

2. 気象衛星による雲型判別



図 2-5-3 地上から見た雲の写真（東京都清瀬市、2016年1月2日 23:21UTC）
気象衛星センターから南西方向を撮影。地上からは上層雲 Ci を観測

2.5.1.2 事例 2

赤外面像（図 2-5-10）を見ると、白いライン上の雲域が気象衛星センター(清瀬市)のやや西から、千葉・茨城県に直線状に伸びている。可視画像（図 2-5-11）でも清瀬市付近の雲域は白く見えるが東に離れるほど薄く透けて見えているのが分かる。この雲域は上層雲で清瀬市付近ではやや厚く、東に伸びる雲域は薄い上層雲と判断できる。動画で見るとこの上層雲の西端はほとんど動いておらず、西端が発生点のように見える。この例の場合、地上観測では清瀬の西側で上層雲が途切れている部分を撮影している（図 2-5-12）。地上観測も衛星画像も同じ上層雲として判別できる。

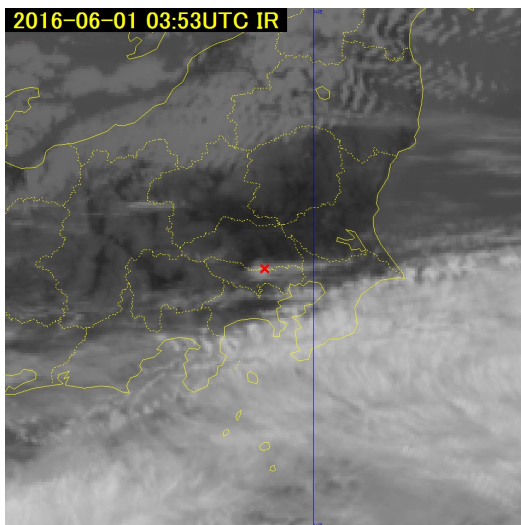


図 2-5-10 赤外面像 2016年6月1日 03:53UTC
(×印：気象衛星センター)

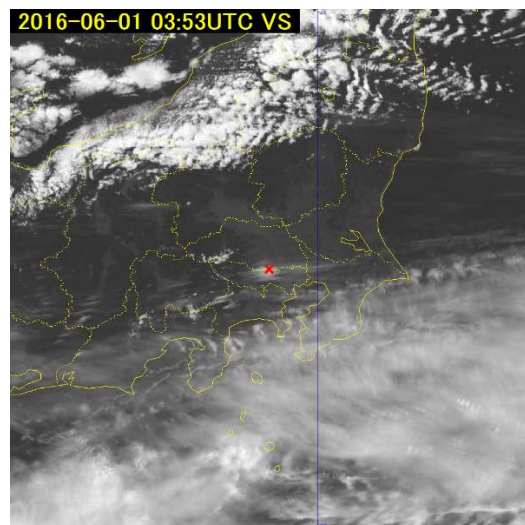


図 2-5-11 可視画像 2016年6月1日 03:53UTC
(×印：気象衛星センター)



図 2-5-12 地上から見た雲の写真（東京都清瀬市） 2016 年 6 月 1 日 03:53UTC
 気象衛星センター付近から西方向を撮影。地上からは上層雲 Ci を観測

2.5.1.3 事例 3

赤外面像（図 2-5-16）を見ると、城ヶ島付近には西から、帯状の白い雲域がかかっている。この雲は可視画像（図 2-5-17）では灰色に見え、地面や海面が透けて見えることから上層雲と判断できる。地上から撮影された写真を見ると、北の方角にかけて薄い上層雲が広がっており、衛星画像で見られる上層雲の縁付近あるいは薄い領域に対応していると考えられる。また、海上からの写真ではあまり発達していない下層雲 Cu が海上の中央付近に見られるが、衛星観測の分解能ではこの雲を認識することはできない。

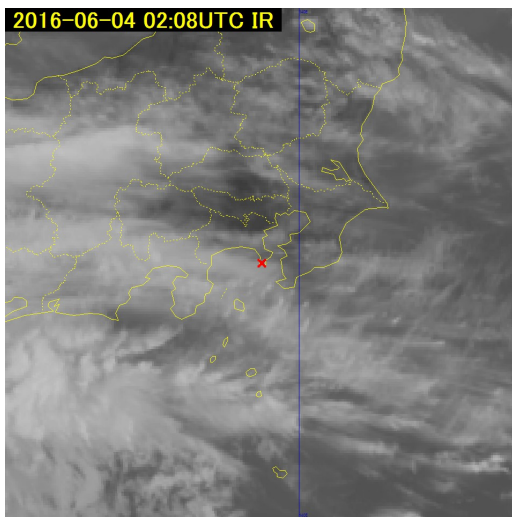


図 2-5-16 赤外面像 2016 年 6 月 4 日 02:08UTC
 (×印：神奈川県三浦市城ヶ島)

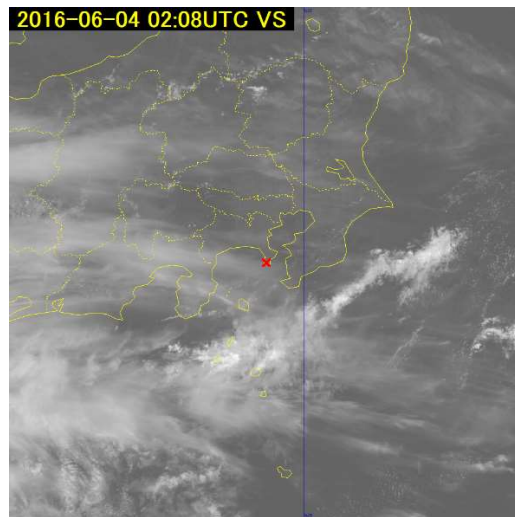


図 2-5-17 可視画像 2016 年 6 月 4 日 02:08UTC
 (×印：神奈川県三浦市城ヶ島)



図 2-5-18 地上から見た雲の写真（神奈川県三浦市）2016年6月4日 02:07UTC
三浦市城ヶ島付近の海上から北方向を撮影。地上からは上層雲 Ci と下層雲 Cu を観測。

2.5.2. Ci と Cm が重なった雲域（衛星から判別される雲型）

赤外面像（図 2-5-4）を見ると、本州の南海上から、まとまった大きな厚い雲域が接近してきているが、この時間、清瀬付近は晴れ間もあり、厚い雲域はかかっていない。可視画像（図 2-5-5）で見ると陸地が透けて見えるので、薄い上層雲のみの雲域とも判断できる。しかし静止画像では判別が難しいが、動画で見ると移動速度の違う雲域が混在しており、上層雲と中層雲が重なった雲域と判断できる。この例の場合、地上観測も衛星画像も同じ上層と中層雲が重なった雲として判別できるが、写真の雲（図 2-5-6）は、薄い中層雲が主体のように見える。赤外面像の輝度温度は薄い雲の場合、地表面など雲の下からの放射が透過するため、実際よりも雲域の輝度温度が高く観測される。それゆえ輝度温度からだけでは雲頂の高さの判断が難しい。

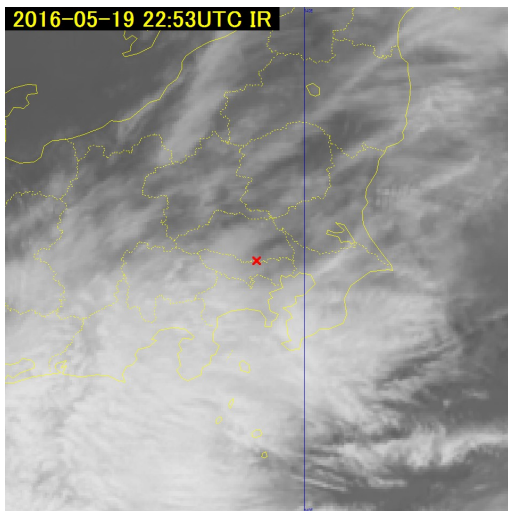


図 2-5-4 赤外面像 2016年5月19日 22:53UTC
(×印：気象衛星センター)

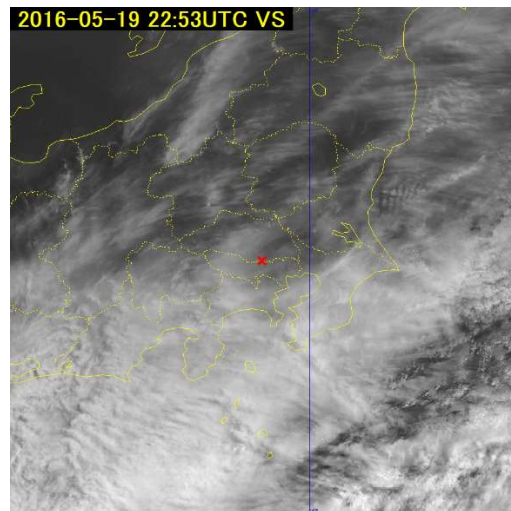


図 2-5-5 可視画像 2016年5月19日 22:53UTC
(×印：気象衛星センター)



図 2-5-6 地上から見た雲の写真（東京都清瀬市、2016 年 5 月 19 日 22:52UTC）
気象衛星センター隣の公園から東北東方向を撮影。地上からは上層雲 Ci と中層雲 Cm を観測。

2.5.3. Sc・Cu が重なった雲域（衛星から判別される雲型）

赤外面像（図 2-5-7）を見ると、左上（西北西）から右下（東南東）方向に薄い上層雲がかかっている。また灰色の下層雲が関東付近に広がっていることは判断できるが、地上気温との温度差が小さい所では、雲域と陸地との判別が難しい。可視画像（図 2-5-8）で見ると、雲域と陸地は明確に区別でき、関東平野中心に下層雲に覆われているのがよく分かる。この例の場合、地上観測では下層雲が全天を覆っているため、中層雲や上層雲が存在するかしらないかは判断できない（図 2-5-9）。しかし衛星画像では下層雲だけでなく上層雲が存在していることが分かる。逆に衛星画像では、厚い上層雲が広がっている場合は、その下に中・下層雲が存在するかしらないかの判断は難しい。

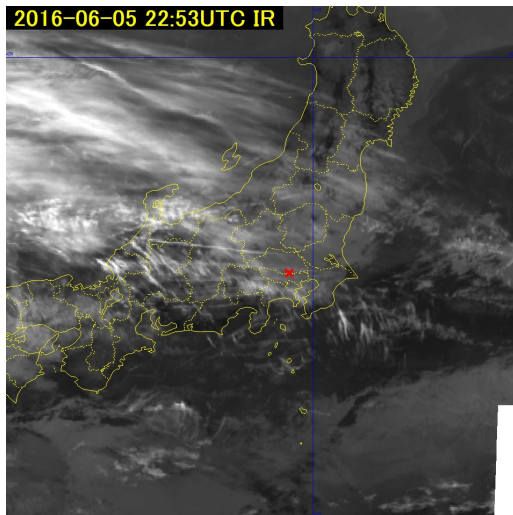


図 2-5-7 赤外面像 2016 年 6 月 5 日 22:53UTC
(×印：気象衛星センター)

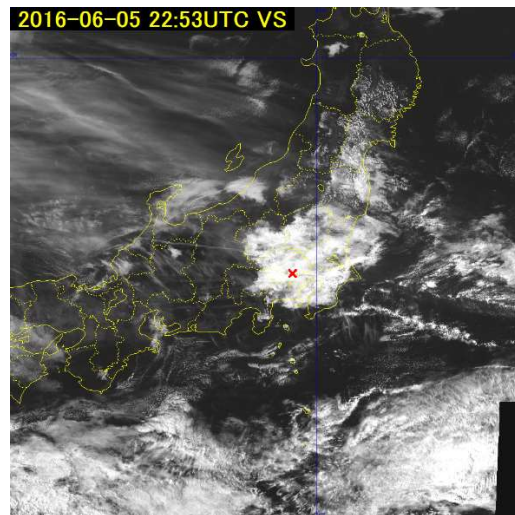


図 2-5-8 可視画像 2016 年 6 月 5 日 22:53UTC
(×印：気象衛星センター)

2. 気象衛星による雲型判別



図 2-5-9 地上から見た雲の写真（東京都清瀬市）2016年6月5日 22:52UTC
気象衛星センター隣の公園から南西方向を撮影。地上からは下層雲 Sc・Cu を観測。

2.5.4. Sc のみの雲域（衛星から判別される雲型）

赤外画像（図 2-5-13）を見ると、東京地方を中心に、灰色の雲がかかっている。可視画像（図 2-5-14）でも、海上に広がる雲域よりやや灰色がかっているが、比較的白い雲域として見られ、波状の模様が確認できることなどから Sc と判断できる。この例の場合、地上観測も衛星画像も同じ下層雲として判別できるが、この例の場合、地上観測も衛星画像も同じ下層雲として判別できる。いっぽう衛星画像で見られる雲頂付近の波状の模様（間隔は 3~5 km 程度）は地上観測では確認できない。また地上観測（図 2-5-15）で見られる数百メートル程度の雲の小さな隙間などは、衛星観測の分解能では認識することはできない。

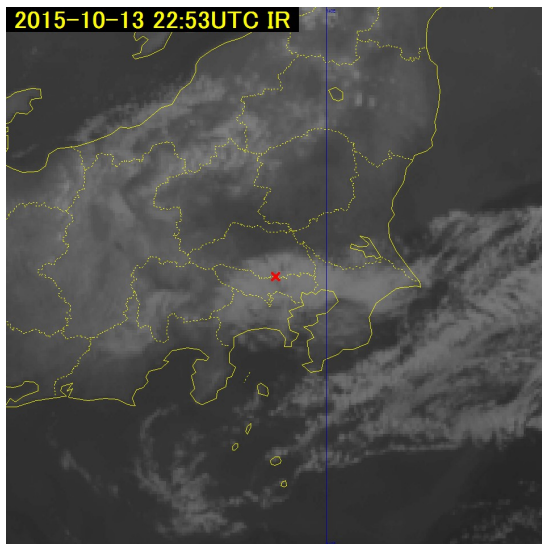


図 2-5-13 赤外画像 2015年10月13日 22:53UTC
(×印：気象衛星センター)

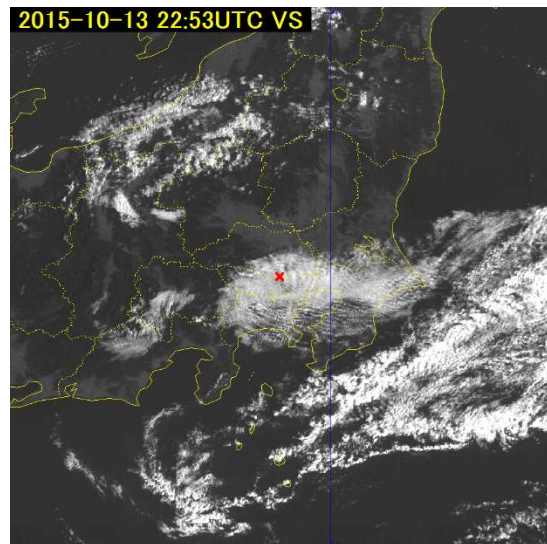


図 2-5-14 可視画像 2015年10月13日 22:53UTC
(×印：気象衛星センター)



図 2-5-15 地上から見た雲の写真（東京都清瀬市）2015 年 10 月 13 日 22:53UTC
気象衛星センター隣の公園から南西方向を撮影。地上からは下層雲 Sc を観測。

2.5.5. Cb、Cg、Cu が共存する雲域（衛星から判別される雲型）

赤外面像（図 2-5-19）を見ると、東京都と埼玉県東部の県境付近にひとときわ白い雲域が見られる。また、茨城県北部を中心に、白い領域が北東に広がっている。この雲域を可視画像（図 2-5-20）で見ると、夕方の画像なので、太陽光が西(左)側からあたっており、雲域の西(左)の縁が白く輝いていることから、周辺に比べ発達した雲域と判断でき、積乱雲 Cb を含む活発な対流雲域であると判断できる。地上観測（図 2-5-21）でも、Cb の頭部にはかなとこ状の巻雲が見られ、発達した雲域が大きく広がっていることが分かる。この時のこの雲域の輝度温度を測定してみると、最も低い輝度温度は -51.9°C で、GSM(GPV)データを使って高度に変換すると 196hPa(41,577ft：約 12,700m)となった。撮影場所から輝度温度が最も低い雲までの距離は、約 30km であった。

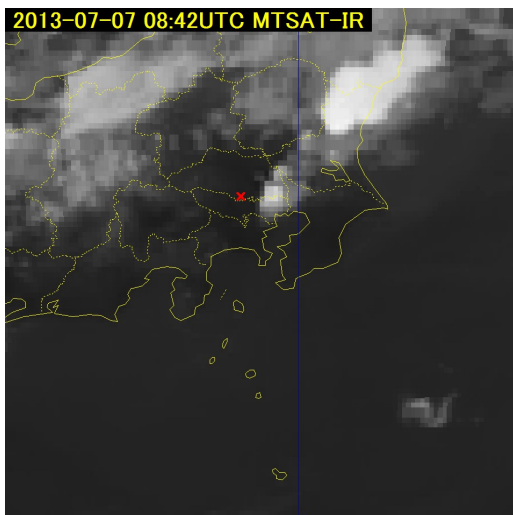


図 2-5-19 赤外面像 2013 年 7 月 7 日 08:42UTC
(×印：所沢市小手指駅付近)

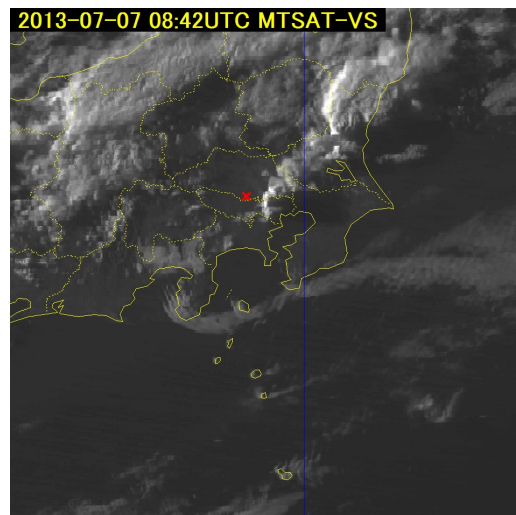


図 2-5-20 可視画像 2013 年 7 月 7 日 08:42UTC
(×印：所沢市小手指駅付近)



図 2-5-21 地上から見た雲の写真 (埼玉県所沢市) 2013 年 7 月 7 日 08:42UTC
所沢市の小手指駅付近から東方向を撮影。地上からは下層雲 Cu と Cb・Cg を観測。

2.5.6. Cu と Cg が共存する雲域 (衛星から判別される雲型)

赤外面像を見ると、埼玉県と千葉県の間境付近に白い雲域が見られる。この雲域を可視画像で見ると、夕方の画像なので、太陽光が西(左)側からあたっており、雲域の西(左)の縁が白く輝いていることから、周辺に比べ上空に発達した雲域と判断でき、活発な対流雲域であると判断できる。地上観測では、かなとこ状の巻雲は見られないが、発達した雲域が広がっており、雄大積雲(無毛積乱雲)Cg と観測できる。この時のこの雲域の輝度温度を測定してみると、最も低い輝度温度は -37.0°C で、GSM(GPV)データを使って高度に変換すると 340hPa(27,574ft : 約 8,400m)となった。撮影場所から輝度温度が最も低い雲までの距離は、約 40km であった。

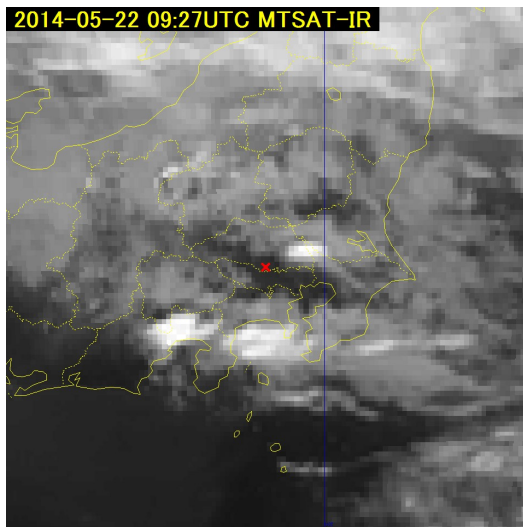


図 2-5-22 赤外面像 2014 年 5 月 22 日 09:27UTC
(×印 : 所沢市小手指駅付近)

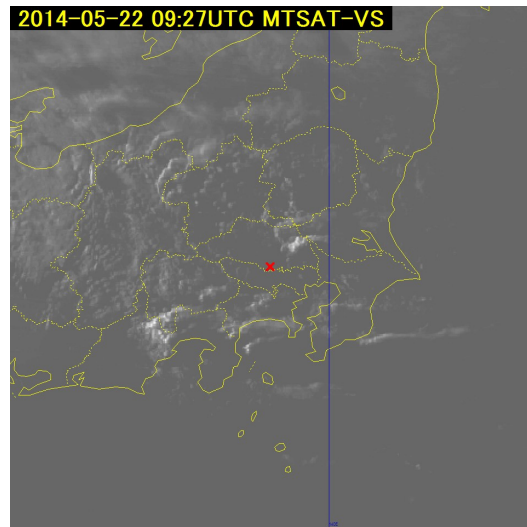


図 2-5-23 可視画像 2014 年 5 月 22 日 09:27UTC
(×印 : 所沢市小手指駅付近)



図 2-5-21 地上から見た雲の写真（埼玉県所沢市）2014年5月22日 09:28UTC
所沢市の小手指駅付近から東北東方向を撮影。地上からは下層雲 Cu と Cg を観測。

2. 気象衛星による雲型判別