

第7章 霧*

航空機の運航では、出発・目的空港及び航空路上の気象状況の把握は重要である。航空気象官署では、空港やその周辺の風、視程、雲の状況、気温、気圧などを常時観測している。このうち、この章では霧に伴う視程障害について実例を取り上げ、衛星画像上で見られる特徴を解説する。

霧は、水蒸気を含む空気塊が①気温の下降、②水蒸気の増加のいずれか、あるいは両方が重なり、水蒸気が飽和した時に発生する。霧には発生原因により移流霧、放射霧、前線霧、滑昇霧及び蒸発霧などがある。

7.1 衛星画像で見られる霧の特徴

雲頂を観測する衛星画像では、雲底が地面に接している霧と接していない層雲の区別はできない。このため、ここでは両者を一括し霧として扱っている。

可視画像では、霧は灰色から白色の雲域として見られ、一般的に霧の雲頂表面は滑らかで一様である。雲頂高度はほぼ一定で、内陸に存在する霧の境界は地形の等高線に沿った形状を示すことが多い。厚い上層雲や中層雲に覆われていない限り、可視画像による霧の特定は容易である。下が透けて見える薄い上層雲に覆われている場合も霧の識別はおおむね可能であるが、粒状の上層雲が覆ったときは霧の表面にその影を落とすため、ごつごつした対流性の雲に見誤ることがある。

赤外画像では、霧は暗灰色またはさらに暗い色調で表示される。雲頂が低く周囲の地表面（海面を含む、以下同様）との温度差が小さいため、赤外画像で霧を特定することは難しい。強い接地逆転が起きているときに存在する霧は、霧のない周囲の地表面温度より雲頂温度が高くなり、赤外画像では地表面より黒く見えることから黒い霧（Black Fog）と呼ばれる（P192のコラム参照）。

一般に霧の動きは遅く形状の時間変化も比較的緩やかなので、霧の判別には動画で動きや形状の変化により確認することも有効である。

なお、可視画像のない夜間帯は赤外画像しか利用できないので、霧と地表面との TBB の差が少な

い場合は判別が困難となる。

一般に霧の厚さは数百メートル以下なので、これより高い山や丘などの障害物に遮られ、障害物の風下側に霧のない切れ間が現れることがある。このことから、その場所のおおよその風向を推定できる。

7.2 内陸の霧（放射霧）

1999年1月25～26日にかけて、関東地方で発生した放射霧の事例を紹介する。

図7-1-1は、1月26日00UTCの地上天気図である。日本の東海上や間宮海峡には前線を伴った低気圧が解析されている。一方、東シナ海には高気圧があり、日本付近に張り出している。この低気圧の通過に伴い、25日は関東地方南部を中心に雨となった。雨は夜半過ぎには止み、26日の明け方前には快晴となった。このため、内陸部では放射冷却により気温が下降し、関東地方で霧が発生した。成田空港では19UTCに5°Cであった気温が22UTCには2°Cまで下降し、濃霧となった。

図7-1-2～図7-1-9は1月25日23UTC～26日02UTCの毎時の赤外及び可視画像である。画像は、霧が見やすいように階調を調整してある。霧は関東平野の白線で囲んだ領域中に見られる。

可視画像では、太陽高度が高くなる26日00UTCには霧がはっきりし、その後時間経過とともに徐々に解消されていることが分かる。また、赤外画像では25日23UTCには霧と霧のない部分（晴天域）との TBB の差はわずかだったが、その後の日射の影響により霧のない部分（この場合は地表面）の温度が上昇したため、霧域がやや白い領域

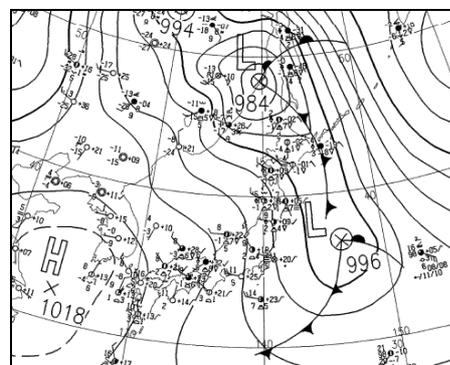


図7-1-1 1999年1月26日00UTC地上天気図

* 山崎 伸一、加藤 左右治（現新潟地方気象台）

として見られるようになった。
なお、この霧の影響により、成田空港に着陸で

きず、他空港に着陸した便があった。

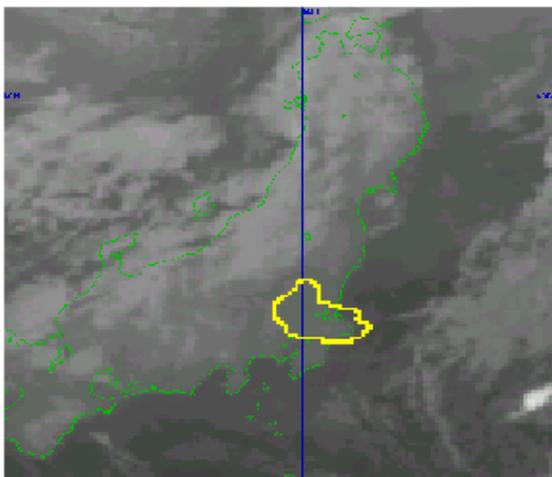


図 7-1-2 1999年1月25日23UTC 赤外画像

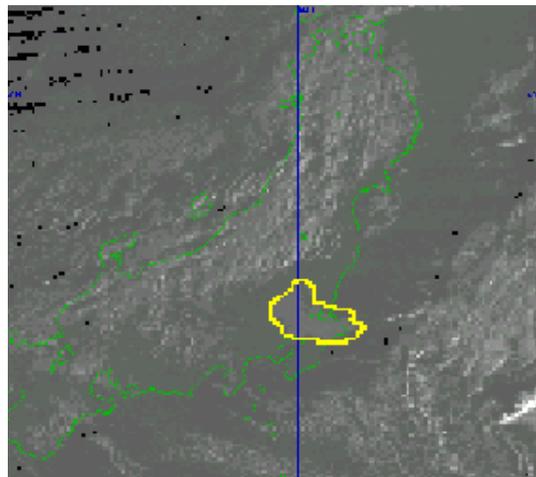


図 7-1-3 1999年1月25日23UTC 可視画像

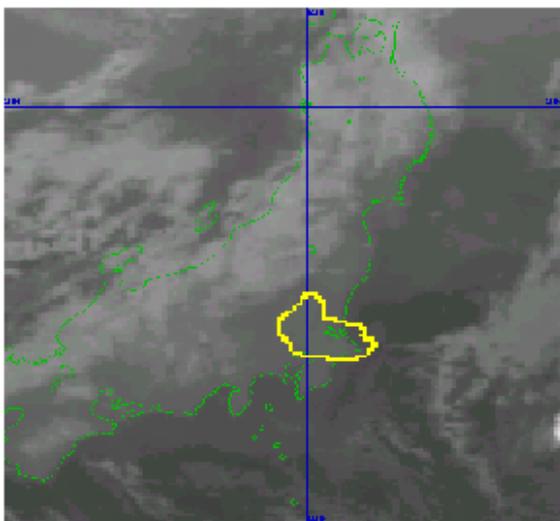


図 7-1-4 1999年1月26日00UTC 赤外画像

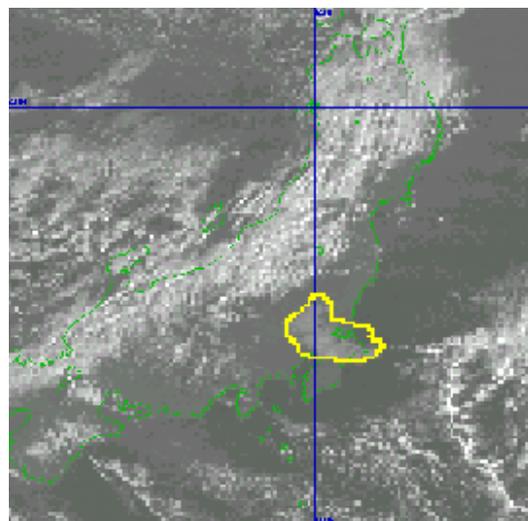


図 7-1-5 1999年1月26日00UTC 可視画像

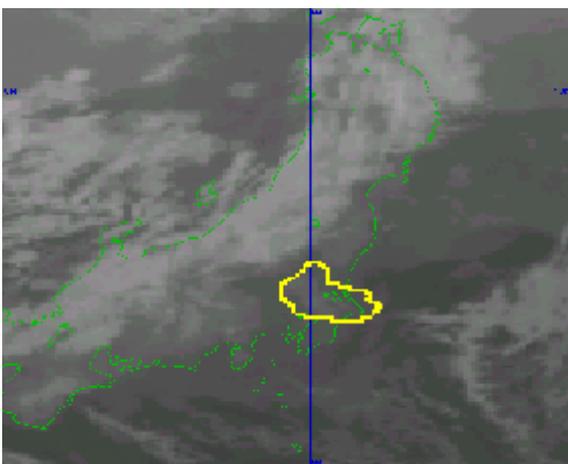


図 7-1-6 1999年1月26日01UTC 赤外画像

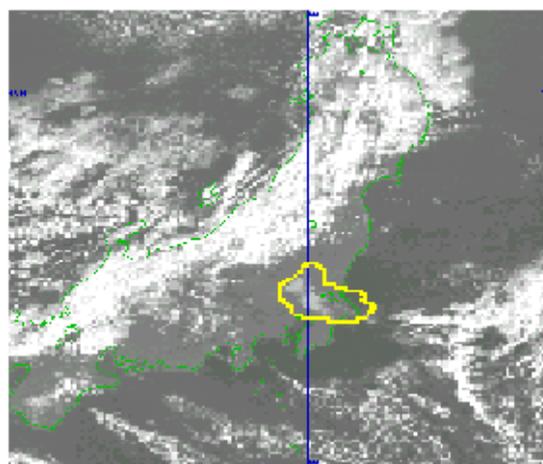


図 7-1-7 1999年1月26日01UTC 可視画像

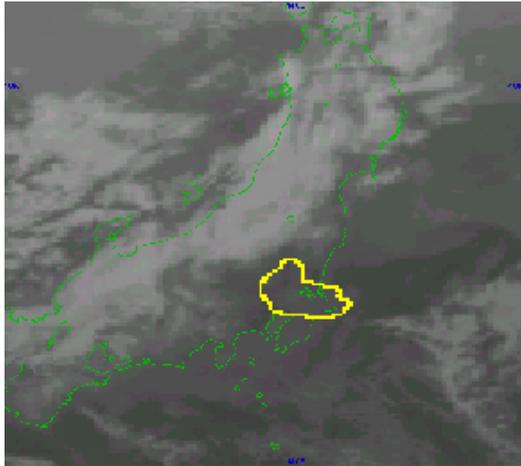


図 7-1-8 1999年1月26日02UTC 赤外画像

図 7-1-10 は図 7-1-3 の霧域を見やすくするため、さらに階調を調整し拡大した可視画像である。霧域は、周りの晴天域に比べやや白く見られ確認が容易になる。ただし、他の雲が白くつぶれてしまうなど調整が難しい。このように階調の調整は、周りに他の雲域がないときには有効な手法である。

図 7-1-11 は 26 日 00UTC の館野のエマグラムである。これによると、およそ 925hPa 付近に明瞭な

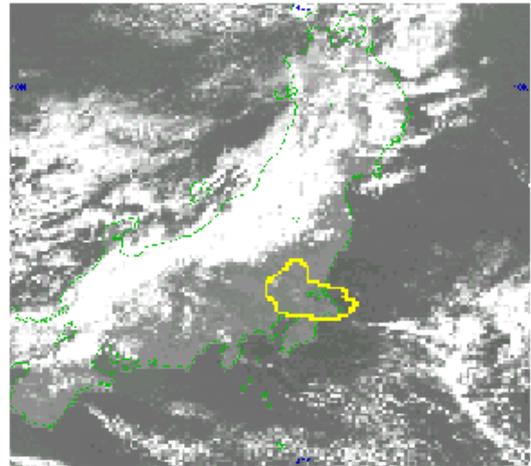


図 7-1-9 1999年1月26日02UTC 可視画像

逆転層があって、その下層は湿ってほぼ飽和していることがわかる。

図 7-1-12 は成田空港の 26 日 00UTC 前後の卓越視程の時系列である。明け方頃から卓越視程は急速に悪化し、00UTC 前後は 200m と最も悪くなっている。その後は日中の昇温とともに霧域が解消し、卓越視程が急速に回復している。

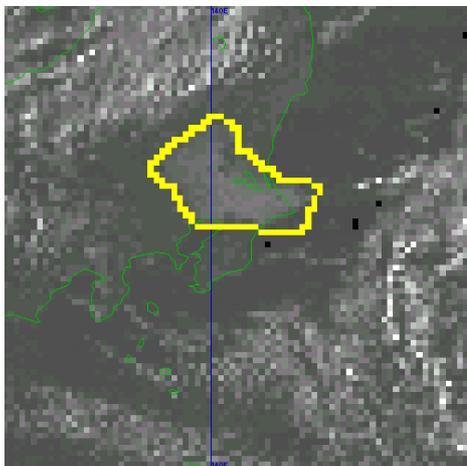


図 7-1-10 1999年1月25日23UTC 可視画像

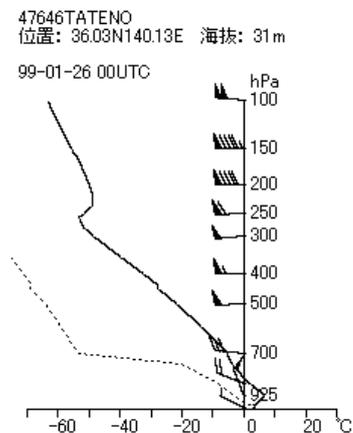


図 7-1-11 館野のエマグラム
実線：気温 破線：露点温度

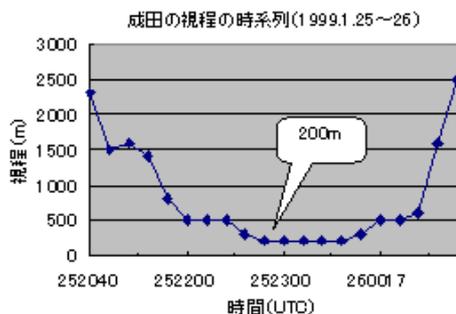


図 7-1-12 成田空港の卓越視程の時系列

7.3 海上の霧（移流霧）

図 7-1-13 及び図 7-1-14 は 2000 年 6 月 23 日 00UTC の赤外及び可視画像である。可視画像では、日本海北部や北海道南部から三陸沖にかけて広範囲に隙間のない霧に覆われている。また、北海道南部の千歳付近や日高山脈付近では内陸部まで霧域が侵入している。

図 7-1-15 は同時刻の地上天気図である。北海道オホーツク海沿岸付近に中心を持つ高気圧が解析されている。また、図 7-1-16 は同時刻の RSM925hPa の相当温位と風分布図である。北海道

南部では、風向は東よりである。これらのことから、内陸の霧は北海道南海上の霧域が高気圧の縁辺流に流され、地形に沿って入り込んできた霧域と推定できる。

可視画像では日本海北部や北海道南海上などの海上の霧域は明瞭に確認できるが、赤外面像では霧域と海面の TBB の差が小さいため、霧域を確認することはできない。一方、千歳や日高山脈付近の霧域は、赤外面像でも明瞭に確認できる。これは、7.2 節と同様に地表面が日射により暖まり、周辺の霧域との TBB の差が大きくなり、赤外面像でも可視化されるようになったためである。

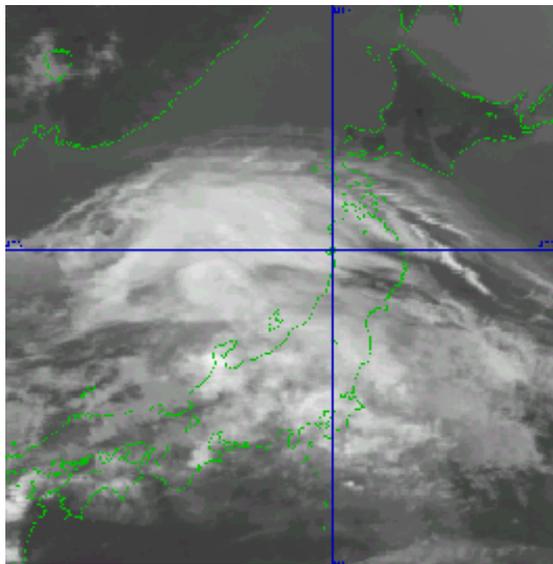


図 7-1-13 2000 年 6 月 23 日 00UTC 赤外画像

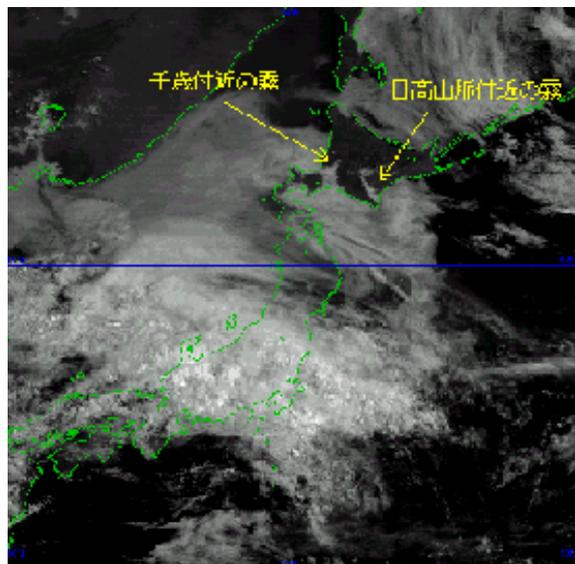


図 7-1-14 2000 年 6 月 23 日 00UTC 可視画像

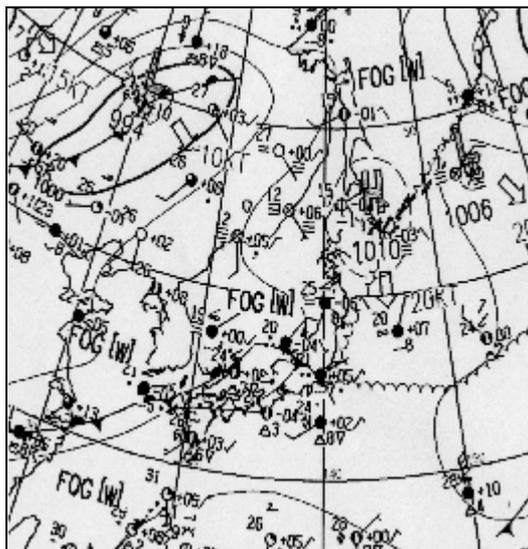


図 7-1-15 2000 年 6 月 23 日 00UTC 地上天気図

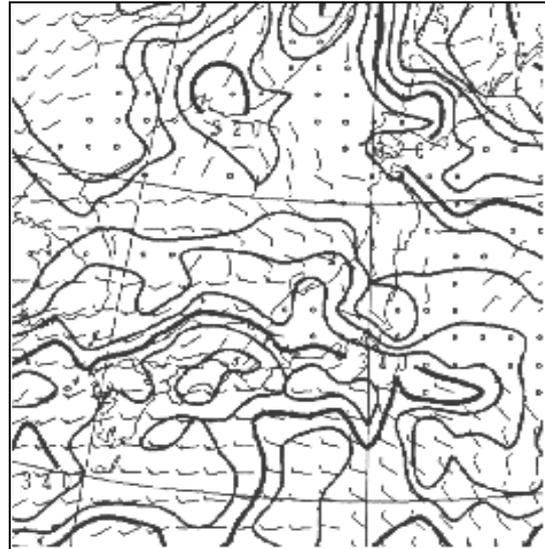


図 7-1-16 2000 年 6 月 23 日 00UTC
925hPa の相当温位 (K)、風 (kt)

図7-1-17及び図7-1-18は6時間後の23日06UTCの赤外及び可視画像である。赤外及び可視画像におけるそれぞれの見え方は前述の通りである。この時刻には、内陸の霧域は日中の昇温によりほぼ消滅した。

図7-1-19は、6月23日09UTCのRSM925hPaの相当温位と風の予想図である。引き続き北海道南部では風向は東よりであるが、00UTCと比べ若干南分が増す予想である。

図7-1-20は、新千歳航空測候所の卓越視程の時系列である。夜間の卓越視程は200mと極めて悪い状態が続いていたが、22日20UTC頃より次第に回復し、23日0030UTC頃には5,000m、04UTCには卓越視程は10km以上であった。しかし、06UTCには再び5,000m以下となった。

一方、図7-1-18の06UTCには北海道オホーツク海沿岸の霧域が陸上から遠ざかっている。これは、高気圧の縁辺流によって北上したものと推測できる。

これらの霧域はその後も数日間にわたって持続し、26日にはほぼ消散した。このように、広範囲に発生する移流霧は海上で発生することが多く、長期にわたり存在する。また、一般風により霧が

空港周辺に侵入し、視程障害を及ぼすことがある。

次の事例は、地面に接した霧とはならなかったが、衛星画像の利用法の一つとして紹介する。

図7-1-21は1996年5月17日00UTCの可視画像、図7-1-22は澁田ら(1997)によって解析された同時刻の雲解析図である。

雲解析図では、東北地方北部及び関東地方の沿岸から内陸部に侵入した下層雲は、北から北西方向に移動している。また、日本の東海上の下層雲は南下もしくは南東進している。これら下層雲の動きから、三陸沖には雲解析図のとおり高気圧性循環(H)が解析できる。この事例でも、先の移流霧の事例と同様に、高気圧後面の東から南の風により、霧を含む下層雲域が関東地方から東北地方北部の太平洋沿岸に侵入している。ただし、先の事例では地上天気図に高気圧が解析されていたのに対し、この事例では地上天気図に表現されないスケールの小さな高気圧であった。

なお、下層雲域がかかっていた成田空港と仙台空港の卓越視程は、17日00UTCではともに10km以上であったが、成田では17日20~21UTCにかけて卓越視程が3,000mとなった。

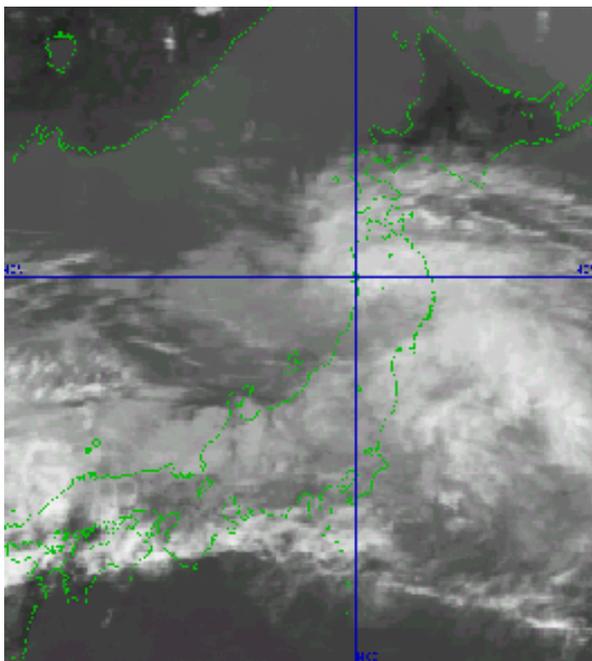


図7-1-17 2000年6月23日06UTC 赤外画像

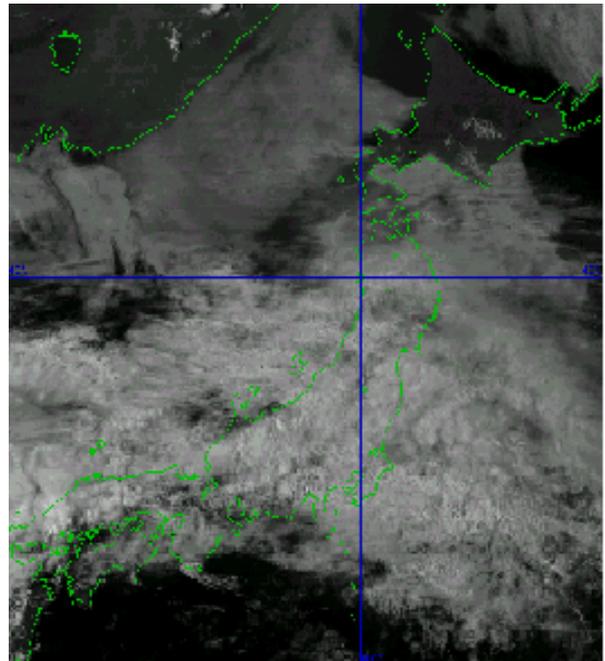


図7-1-18 2000年6月23日06UTC 可視画像

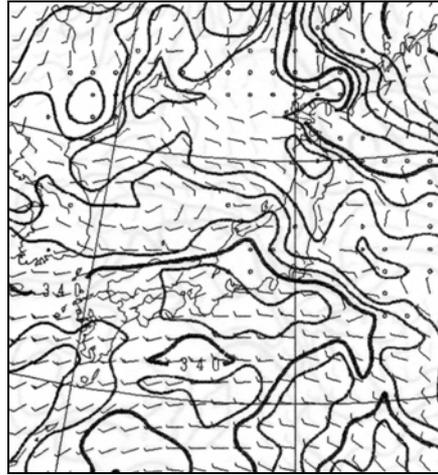


図 7-1-19 2000年6月23日09UTC予想図
RSM925hPaの相当温位(K)、風(kt)

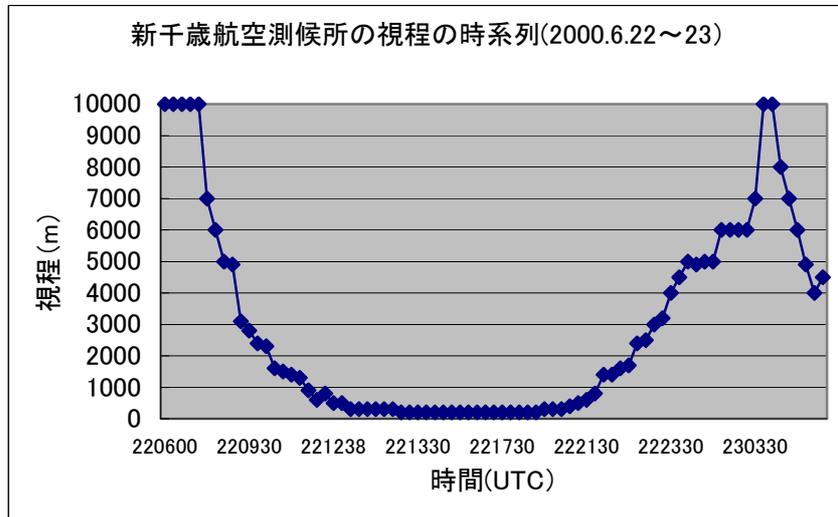


図 7-1-20 新千歳航空測候所の視程の時系列

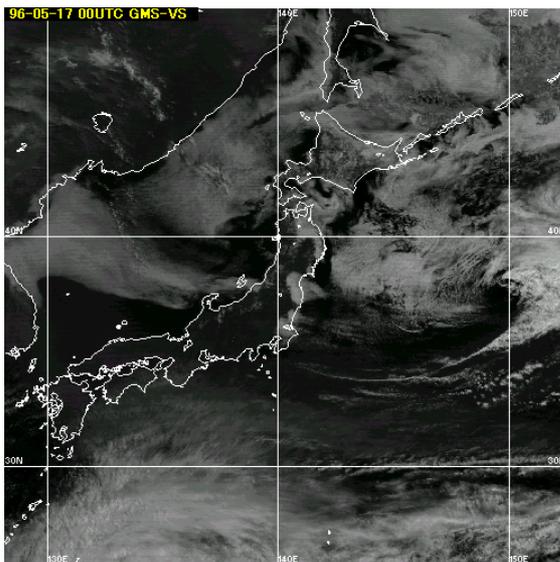


図 7-1-21 1996年5月17日00UTC可視画像

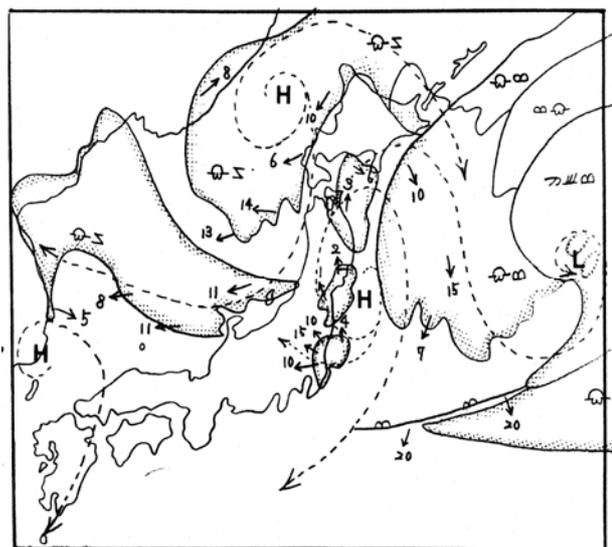


図 7-1-22 1996年5月17日00UTC雲解析図

矢印：下層雲の動き 数字：下層雲の移動速度

7.4 新センサーの利用

「ひまわり5号 (GMS-5)」の次期衛星として、2003年に打ち上げ予定の「運輸多目的衛星 (MTSAT-1R)」では、新たに $3.7\mu\text{m}$ 帯のセンサーが追加される。これまで、この $3.7\mu\text{m}$ 帯のセンサーから得られる $3.7\mu\text{m}$ 画像の有効性については、山崎ら(1999)が極軌道衛星NOAAに搭載されたAVHRRの画像データを用いた事例解析を行い、夜間の霧の検出に有効であると報告している。

なお、「MTSAT-1R」の画像分解能は衛星直下で4kmあり、NOAA画像の分解能(衛星直下で1.09km)より低い。ここに掲載したNOAA画像の分解能はMTSAT-1Rと同じ程度に落としたものである。

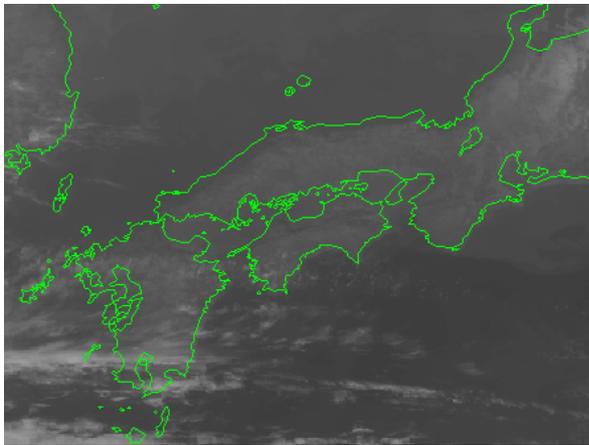


図 7-1-23 NOAA 赤外画像
1996年2月13日15UTC頃

7.4.1 陸上の霧

図 7-1-23、24、25 は、1996年2月13日15UTC頃のNOAAの赤外・赤外差分及び $3.7\mu\text{m}$ と赤外の差分画像である。

なお、赤外差分画像とは赤外1画像と赤外2画像とのTBBの差を画像化したものである(1.2.4項)。同様に $3.7\mu\text{m}$ と赤外の差分画像は $3.7\mu\text{m}$ と赤外1画像画像とのTBBの差を画像化したものである。

図 7-1-23、24 では、内陸の霧域は特定できないが、図 7-1-25 では近畿地方から大阪湾、中国山地、四国地方、紀伊半島にある霧を含む下層雲域(白い部分)が明瞭に見られる。

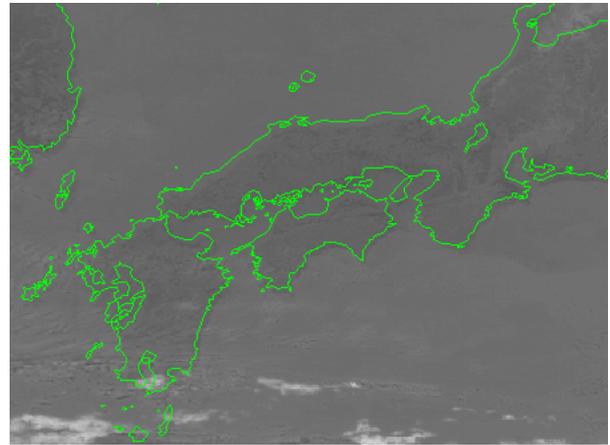


図 7-1-24 NOAA 赤外差分画像
1996年2月13日15UTC頃

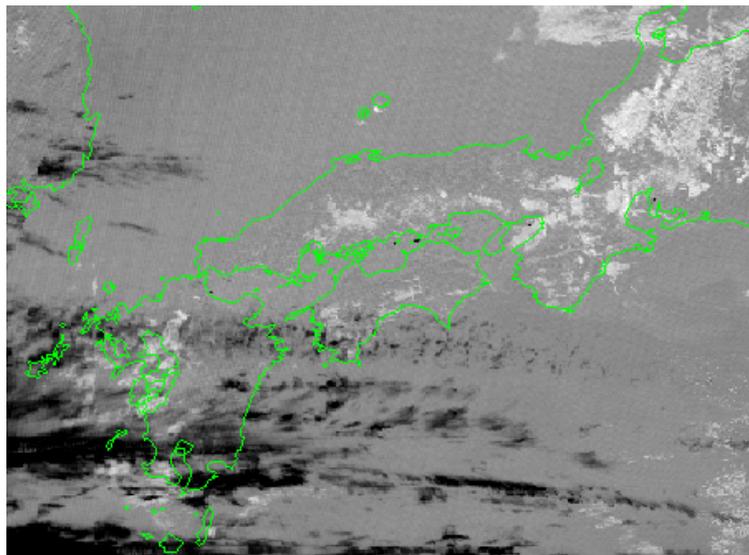


図 7-1-25 NOAA $3.7\mu\text{m}$ と赤外の差分画像 1996年2月13日15UTC頃

7.4.2 海上の霧

図 7-1-26、27 は 1999 年 8 月 9 日 18UTC 頃の NOAA の赤外及び $3.7\mu\text{m}$ と赤外の差分画像である。

図 7-1-26 では霧域の判別が不可能であるのに対し、図 7-1-27 では北海道南部沿岸から海上にかけてと三陸沖に霧を含む下層雲域が明瞭に見られる。

このように、中・上層に雲がなければ夜間でも

$3.7\mu\text{m}$ と赤外の差分画像では霧を含む下層雲域を明瞭に識別できる。

また、一日 4 枚の画像しか得られない NOAA と異なり、MTSAT-1R では毎時の連続した画像が取得できるので、動画を用いることで霧域の変化や移動などの実況監視に威力を発揮すると期待される。

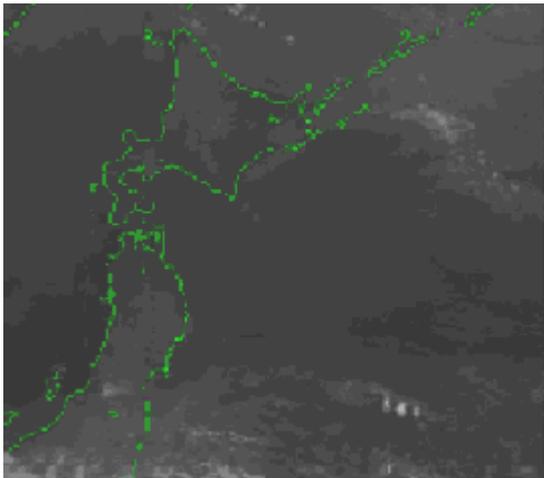


図 7-1-26 NOAA 赤外画像
1999 年 8 月 9 日 18UTC 頃

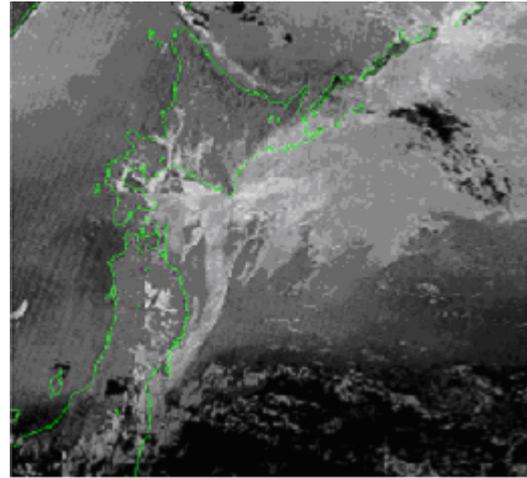
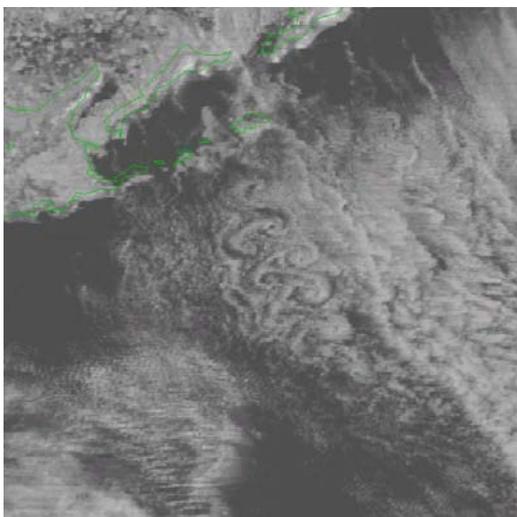


図 7-1-27 NOAA $3.7\mu\text{m}$ と赤外の差分画像
1999 年 8 月 9 日 18UTC 頃

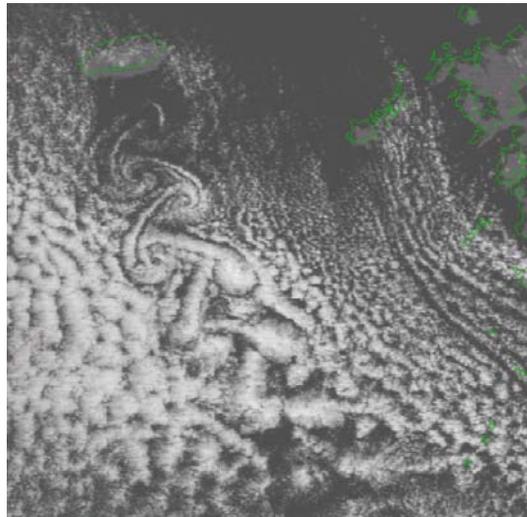
カルマン渦

地形の影響を受けることにより、特徴的な雲が発生することがある。その一つがカルマン渦である。島の風下側で 2 列に渦が並び、下流に向かい右側は反時計回り、左側は時計回りの渦が形成されるのが特徴である。寒候期に寒気の流入が弱まり、風向が一定した下層風が持続する海上で発生する。渦列は対流活動の弱まった層積雲により形成される。日本付近では、チェジュ島、屋久島、利尻島、千島列島の風下などに多く見られる。付図 1 は千島列島、付図 2 はチェジュ島の例である。両画像とも縮尺は同じである。

(田中 武夫)



付図 1 2000 年 3 月 22 日 00UTC の可視画像



付図 2 2000 年 2 月 21 日 02UTC の可視画像