

近赤外画像を用いた夜間の霧及び下層雲の検出

山崎 伸一* 神田 一史* 山際 龍太郎*

Detection of fog and low level clouds in the nighttime

using near-infrared imageries($3.7\mu\text{m}$)

Shin-ichi Yamazaki* Kazufumi Kanda* Ryutaro Yamagiwa*

Abstract

In summer of 1999, a Multi-functional Transport Satellite (MTSAT) will be launched as a successor of the GMS-5. The meteorological mission of MTSAT fundamentally succeeds major specification of GMS-5 and a 'near-infrared' sensor with wavelength of $3.7\mu\text{m}$ will be added.

To examine an efficiency of $3.7\mu\text{m}$ sensor, a 'MTSAT IR Simulation Image(MISI)' was made from NOAA/AVHRR IR image by reducing its spatial resolution from about 1 km to 5 km at sub satellite point.

By using the MISI, it is confirmed that the image of the TBB difference between $3.7\mu\text{m}$ and $11\mu\text{m}$ channel from MTSAT will be useful for detecting 1)a fog or low-level stratus area and 2)system center of a typhoon in the stage of 'Shear-pattern' which is characterized that the location of dense cloud shears from the cloud system center determined by the low level cloud lines.

要 旨

「ひまわり5号 (GMS-5)」の次期衛星として、1999年の夏に打ち上げ予定の「運輸多目的衛星 (MTSAT)」では、可視・赤外放射計に新たに $3.7\mu\text{m}$ 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近赤外画像の有効性については、Lee et al. (1997)、藤田 (1994)、操野・神田 (1995) 等によって極軌道衛星NOAAに搭載されたAVHRRの画像データを用いた事例解析がなされており、夜間の下層雲や薄い上層雲の検出に有効であることが報告されている。

「MTSAT」から取得される画像の空間分解能は、これまでの調査で用いられた軌道衛星「NOAA」の画像の分解能 (衛星直下点で1.09Km) より、約5倍ほど低い。従って、本稿では、「NOAA」画像から「MTSAT」の分解能に落とした「MTSATシミュレーション画像」を作成し、「MTSAT」から得られる近赤外画像の有効性について、①夜間における霧・層雲の検出、②夜間におけるShear-pattern (台風を構成する厚い雲域の風上側に下層の雲渦が取り残されるパターン) を呈する台風の中心推定について事例解析を行った。その結果、「MTSAT」に搭載される新センサーを用いても、近赤外画像と赤外1画像 ($11\mu\text{m}$ 帯) の輝度温度差を取った近赤外差分画像は①②について有効な威力を発揮することが確認された。

*気象衛星センター 解析課

(1998年12月14日受領、1999年1月27日受理)

1. はじめに*

可視画像が利用できない夜間の場合、赤外1画像 (11 μm 帯) だけで下層雲を判別することは困難な場合が多い。このため、赤外1画像と赤外2画像 (12 μm 帯) との輝度温度差を取った差分画像 (スプリット画像) も利用しているが、それでも輝度温度差は最大でも 3 $^{\circ}\text{C}$ (図1上) と小さく、判別は容易でない。

「ひまわり5号 (GMS-5)」の次期衛星として、1999年の夏に打ち上げ予定の「運輸多目的衛星(MTSAT)」では、ひまわり5号「GMS-5」に搭載されている可視、赤外1、赤外2、水蒸気のセンサーに近赤外 (3.7 μm 帯) の新センサーが追加され、計5チャンネルの画像を定期的に取得できるようになる。

新センサーで使用される波長帯 (3.7 μm 帯) における水雲からの射出率は、11 μm 帯 (赤外1) よりも小さい (Hunt(1973))。その結果、赤外1 (または2) 画像と比較して近赤外画像では、夜間 (可視光によるノイズが少ない) に観測される水雲はわずかに冷たく (白く) 見える、赤外1画像と近赤外画像との輝度温度差 (近赤外差分画像) は水雲のあるところで通常2~7 $^{\circ}\text{C}$ (図1下) となる。一方、雲のないところでは輝度温度差がほとんどないため、これらのコントラストが明瞭となる。従って、近赤外差分画像はより夜間の下層雲の検出には適している (Ellrod(1992))。

近赤外差分画像を用いた夜間の下層雲の検出については、Lee et al. (1997(P63))、藤田 (1994)、操野・神田 (1995) 等が極軌道衛星「NOAA」のAVHRRの画像データを用いて調査を行っており、その有効性を報告している。

しかし、「NOAA」は第1表で示すように「MTSAT」と比べ約5倍も高分解能であるため、これらの調査結果だけから「MTSAT」でも有効であるとは言い切れない。そこで、本稿ではほぼ「MTSAT」と同様の分解能を持つ「MTSATシミュレーション画像」を

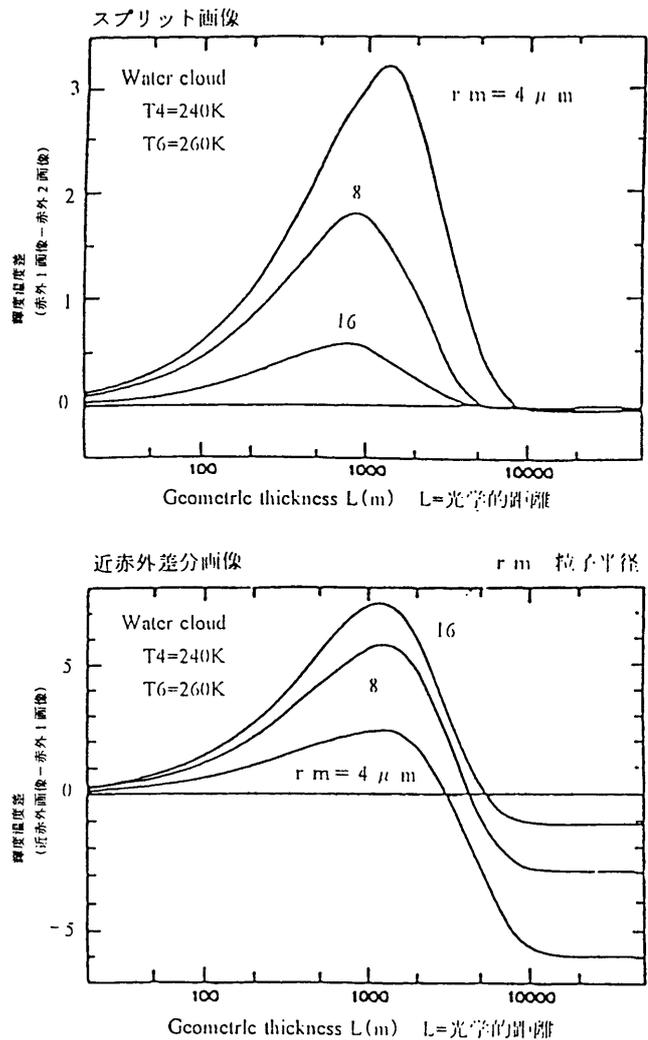


図1 水雲の場合のスプリット画像 (上) と近赤外差分画像 (下) における輝度温度差 (Yamanouchi et al. (1997)より)

「NOAA」画像から作成し、これを用いて①夜間における霧・層雲の検出、②夜間におけるShear-patternを呈する台風の中心推定について、事例解析を行いその有効性について検証を行ったので報告する。

なお、「MTSATシミュレーション画像」を作成する際に使用した「NOAA」画像の分解能は、緯度・経度ともに0.0125度である (直接受信した画像データ (分解能: 1.09km) を緯度経度格子に変換したもの)。

*神田 一史

「MTSATシミュレーション画像」は、この「NOAA」画像から5ライン（緯度）×5ピクセル（経度）の25ピクセルを平均して作成した。従って、「MTSATシミュレーション画像」の分解能は緯度・経度ともに

0.0625度（日本付近で約6km）で、ほぼ「MTSAT」の分解能に等しい。本稿に掲載した画像は、特に断らない限り（図11・21・22はGMS-5の画像）、すべて「MTSATシミュレーション画像」である。

第1表 衛星直下点における空間分解能

衛 星 名	衛星直下点の空間分解能
GMS-5 (ひまわり5号)	可視：1.25 Km 赤外1、赤外2、水蒸気：5 Km
MTSAT (運輸多目的衛星)	可視：1.25Km 赤外1、赤外2、水蒸気、近赤外：5 Km
NOAA	可視、赤外1、赤外2、水蒸気、近赤外：1.09Km

II. 夜間の霧*

II-1. はじめに

昼間は可視画像により容易に判別可能な霧（下層の層雲を含む）も、赤外面像しか入手できない夜間は検出が困難になる。現行の現業ルーチン作業においても、階調を変えたり、スプリット画像を利用するなど色々な工夫をこらして霧の検出につとめてはいるが、海上に大規模に出現するものを除いては難しいのが現状である。

「MTSAT」に搭載される新センサー（ $3.7\mu\text{m}$ 帯）では、この夜間の霧域がある程度容易に判別可能になると期待されている。本章では、「MTSATシミュレーション画像」を用い、海上の霧・平野部の霧・山沿いの霧の3例について考察を行ったので報告する。

II-2. 事例解析

(1) 海上の霧

日本付近では、日本海北部、三陸沖の太平洋、オホーツク海（いずれも沿岸部を含む）などは、霧が頻繁に発生する海域として知られている。海上に発生する霧は、現行の赤外センサーでもある程度検出可能である。ただし、そのためには、画像の階調を変えてみるなど多少の工夫が必要である。

図2は、1998年9月9日18UTCの地上天気図である。北海道東方海上は高気圧におおわれ、海上濃霧警報（FOG[W]）により霧に注意が促されている。図3は、同時刻の1800UTCに極軌道衛星「NOAA」が捉えた知床半島から千島列島、カムチャッカ半島南部とその近海の赤外1画像（ $11\mu\text{m}$ ）から作成した「MTSATシミュレーション画像」である（画像日時は図の中心付近を撮影した時刻）。階調を調整（ $-40^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ を強調）したこともあって、「大体このあたりが霧域であろう」という推察はできる。図4は同時刻・同領域の近赤外面像である。こちらも階調を調整してある。図

3と図4を比較すると、可視光の影響を受けない夜間においては新センサー単体で得られる画像は赤外1画像とそれほど差がないように見える。

次に示す図5は、これまでの調査から霧の判別に最も有効と言われている、「赤外1」と「近赤外」との輝度温度差をとった近赤外差分画像であるが、一目見てわかるように今までぼやけていた霧域の境界が明瞭に判別できる。また霧域自体も白く浮き上がって見え、千島列島の南海上にあるような比較的小規模な霧域もはっきりと検出できる。さらには、画面上部に見られるように、カムチャッカ半島の陸上部分の霧域の境界も判別可能になっている。

現在のGMS-5でも「赤外1」（ $11\mu\text{m}$ ）と「赤外2」（ $12\mu\text{m}$ ）の差分をとってスプリット画像とし、夜間は可視画像の代用としているが、解像度が粗いため、画像としてそれほど利用されていない。一方、「MTSAT」の近赤外差分画像では、使い方によって

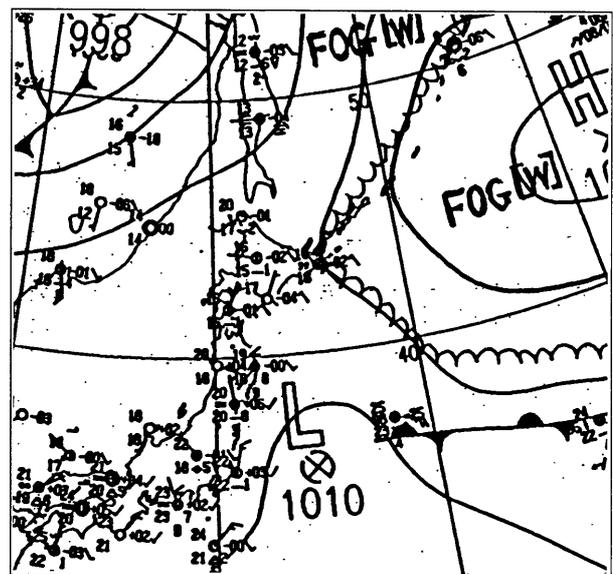


図2 地上天気図（1998年9月9日18UTC）

は十分利用可能な情報を引き出せると考えられる。なお、比較のために同時刻のスプリット画像（「MTSATシミュレーション画像」）を図6に示す。

*山際 龍太郎

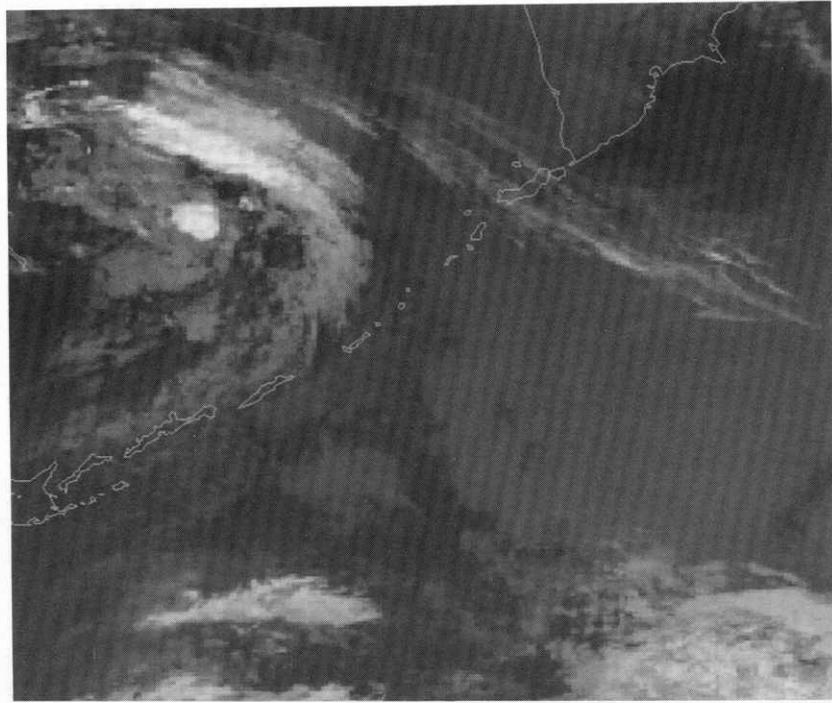


図3 赤外1画像 (1998年9月9日1800UTC)

(「NOAA」画像から作成した「MTSATシミュレーション画像」。以後、特に断らない限り、同様。また、画像日時は図の中心付近を「NOAA」が撮影した時刻。以下同様。)

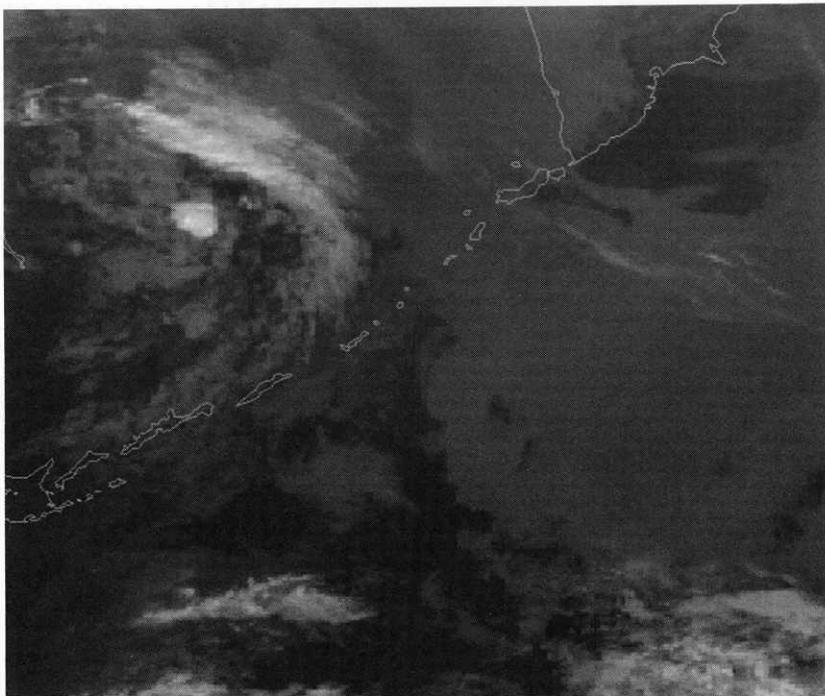


図4 近赤外画像 (図3と同時刻)

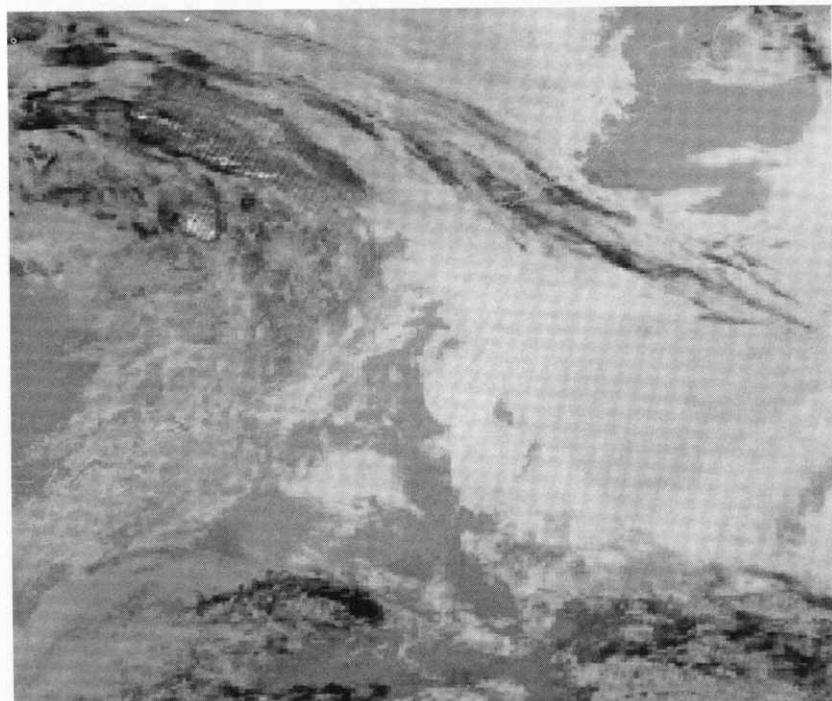


図5 近赤外差分画像 (図3と同時刻)

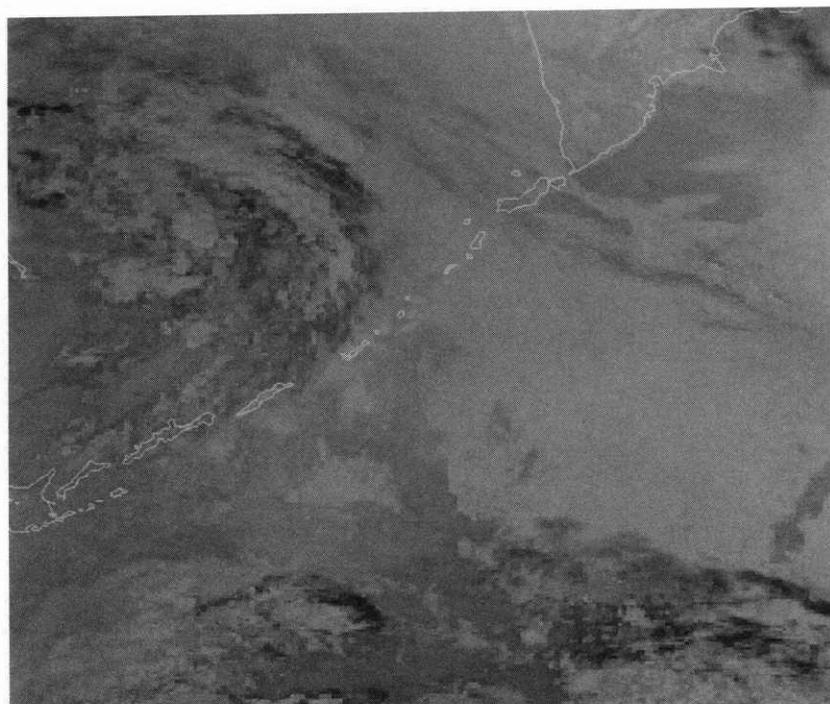


図6 スプリット画像 (図3と同時刻)

(2) 平野部の霧域

次の事例では、内陸部で発生した霧について見ていく。図7は1998年10月1日18UTCの地上天気図である。1日の夜間、日本海に中心をもつ低気圧から延びる寒冷前線が本州上を通過した。この時間(18UTC)関東地方は寒冷前線の北側にあたり、地表面が湿っているところに上空に寒気が流入した他、前線通過後の晴天も加わって霧が発生する条件がそろっていた。図8は、ほぼ同時刻の1日1722UTCの赤外1画像である。図の右下の白く輝いている雲域が通過した寒冷前線にともなう対流雲である。この図からは、関東地方は雲のない快晴の領域のように見えるが、次に示す図9(同時刻の近赤外画像)ではぼんやりとではあるが、関東地方の広い範囲に霧が発生していることが解析できる。なお、図8・図9とも階調を調整して霧域を強調してある。

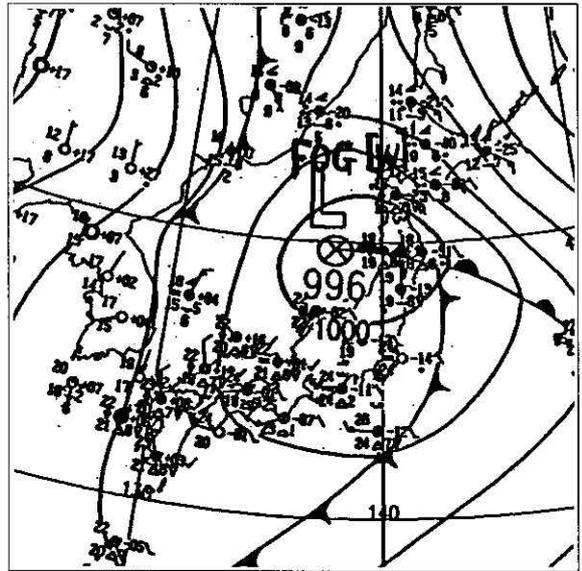


図7 地上天気図 (1998年10月1日18UTC)

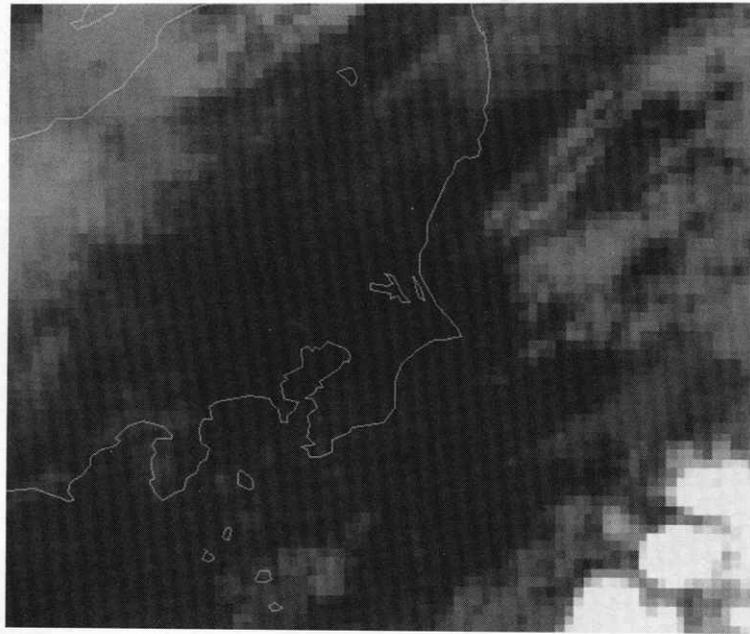


図8 赤外1画像 (1998年10月1日1722UTC)

ここでさらに詳しい情報を得るために、(1)項と同様に「赤外1」と「近赤外」の差分をとったものが、図10である。この図10でも(1)項の海上の霧域と同じく、霧域が白く浮き上がって見えるのが特徴的である。すなわち、関東地方は乳白色でベール状をしてお

り、霧におおわれていることが推測できる。実際に18UTCの地上実況でも、北関東の宇都宮・前橋で現在天気が「霧」、東京・銚子で「もや(視程2Km)」となっており、衛星による観測と合致している。

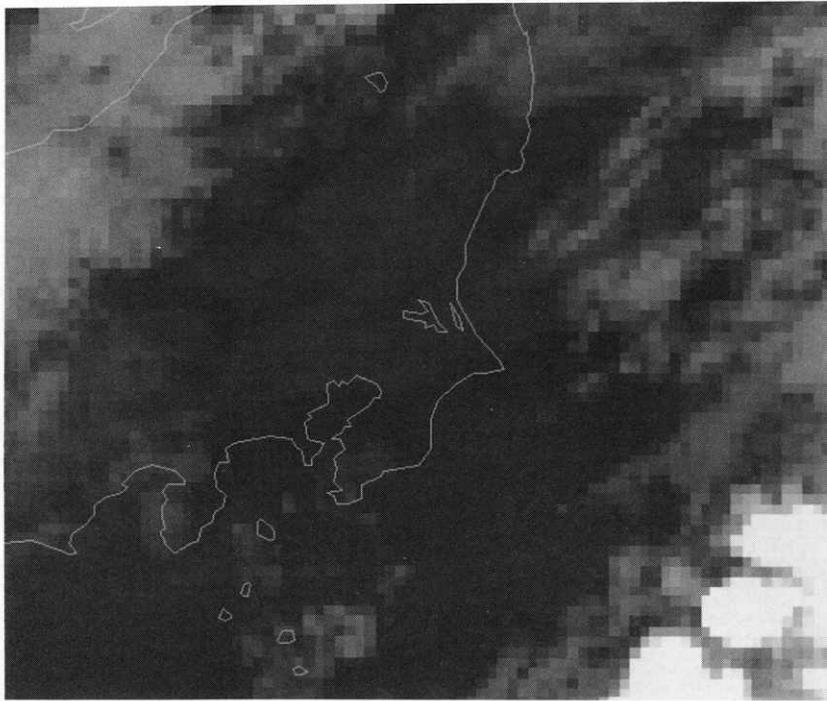


図9 近赤外画像 (図8と同時刻)

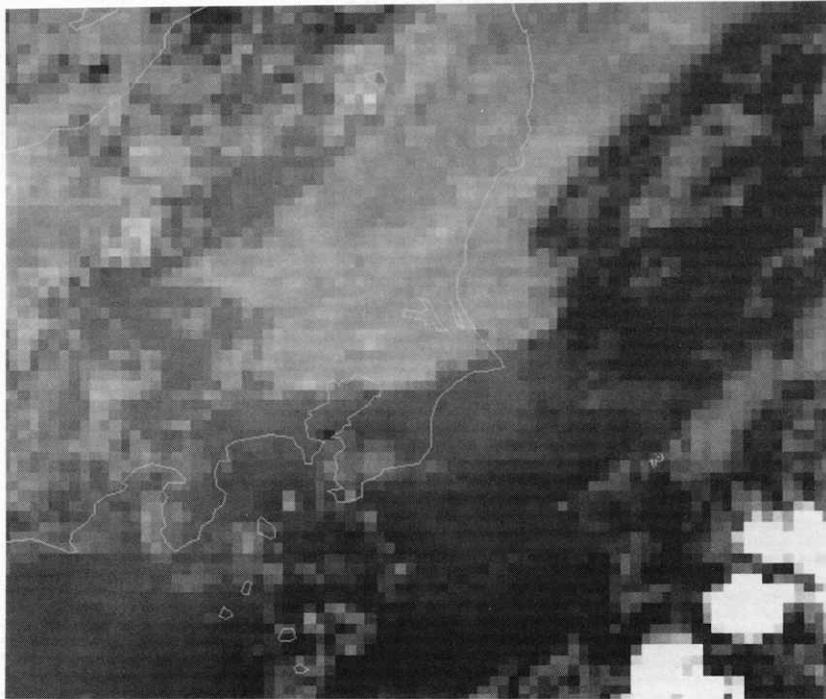


図10 近赤外差分画像 (図8と同時刻)

さて、この10月1日の夜に発生した霧は北関東を中心に翌2日朝まで持続し、交通機関に遅れなどの影響があった。図10からおよそ4時間後の22UTCにGMS-5が観測した可視画像が図11である。日の出とともに霧がやや薄くなっていることを念頭において図10と

図11を比較すると、双方における霧の見え方はかなり類似していると言える。ちなみに21UTCの地上実況では、前橋と小名浜で「地霧」(空が透視できる低い霧)、東京・銚子で「もや」となっていた。

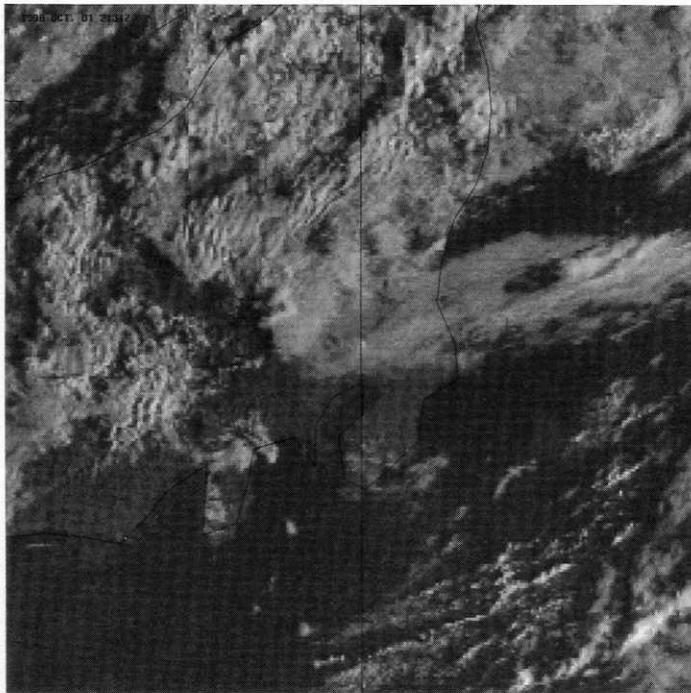


図11 GMS-5による可視画像 (1998年10月1日22UTC)

(3) 山沿いの霧

霧は、山間部・盆地・川沿い・湖沼付近など特定の場所に発生することが多い。ここでは山沿いに発生した霧の事例を取り上げる。図12は、1998年10月13日18UTCの地上天気図である。総観場で見ると、三陸沖に中心をもつ移動性高気圧が北日本をおおい、北海道方面では放射冷却によって地表面付近の気温が下がり、霧が発生しやすい状況であったと考えられる。

さきの2つの事例と同様に、図13に赤外1、図14に近赤外の画像をそれぞれ示した。いずれも観測時刻は10月13日1827UTCである。また、図13・図14とも階調を調整してある。この事例においても図13の赤外1画像からはほとんど霧についての情報は得られない。海上の霧域はかすかに解析できるが、陸上はほぼ快晴のように見える。これは今回紹介したいいくつかの事例に限ったことではなく、陸上の霧域を赤外1（または2）画像から捉えることは階調を工夫するなどしても実際のところかなり困難である。次に近赤外面像（図14）を見てみると、海上の霧域が赤外1画像より明瞭に解析できる。また、陸上の霧域についても十勝平野や根釧台地など大規模なものとはなんとか見分けられる。

最後に、この事例についても「赤外1」と「近赤外」の差分をとってみる（図15）。ここまでみてきたよう

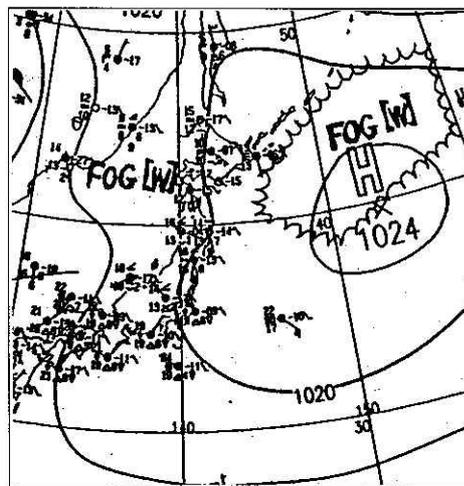


図12 地上天気図
(1998年10月13日18UTC)

に陸上・海上を問わず、霧域が白く浮き上がっている。ここで注目すべきは、道央やや西側に見られる山沿いの霧域であろう。天塩山地・夕張山地・北見山地などの山沿いに霧域が張り付いている様子がよく捉えられている。また、十勝平野や渡島半島の一部にも霧域が見られる。

なお、この日の地上観測では平野部の帯広・釧路・根室などのほかに、旭川で夜中に霧を観測していた。

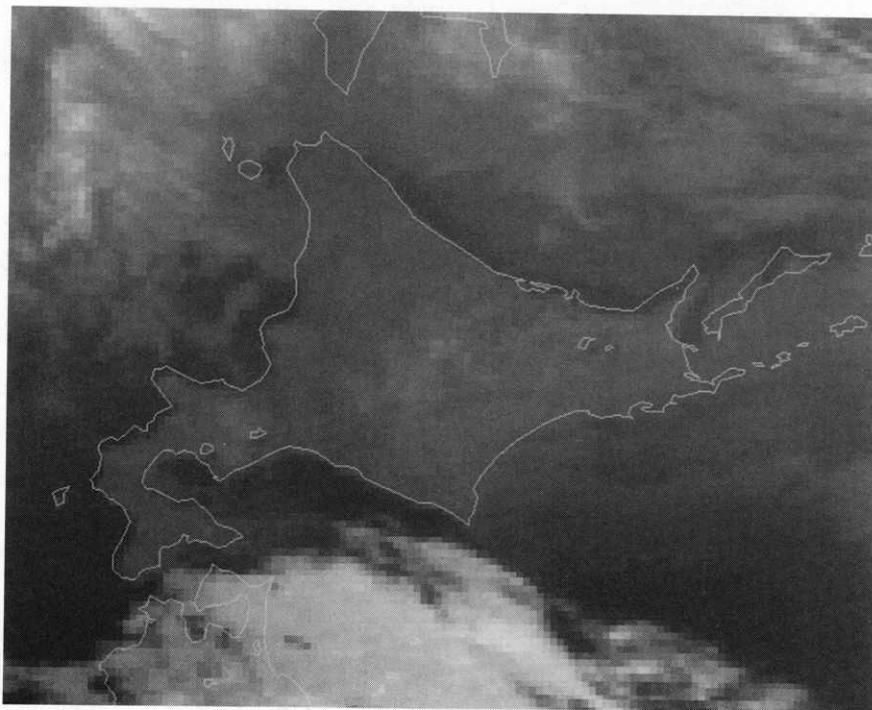


図13 赤外1画像 (1998年10月13日1827UTC)

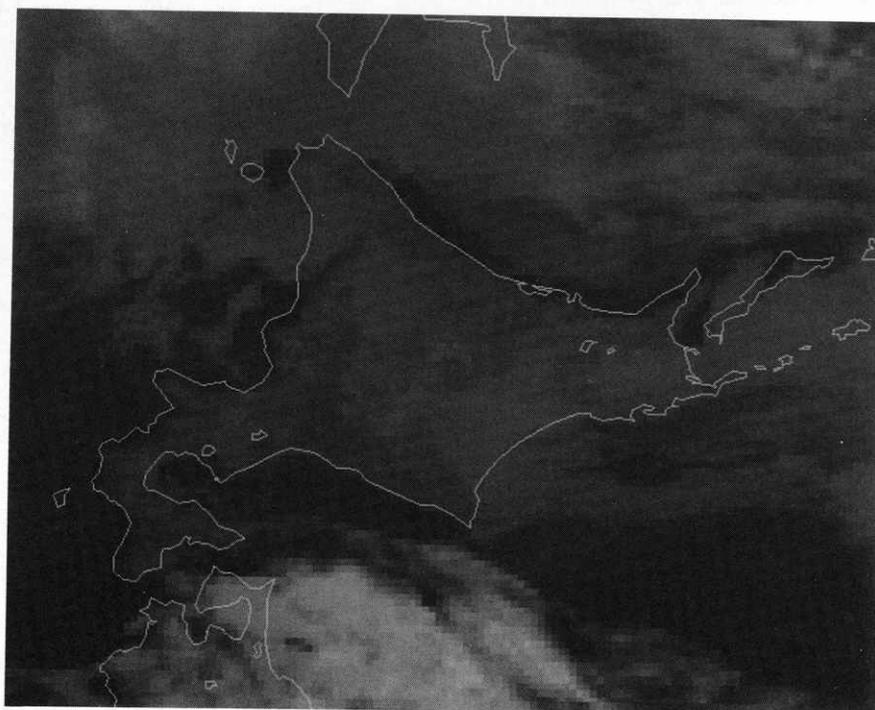


図14 近赤外面像 (図13と同時刻)

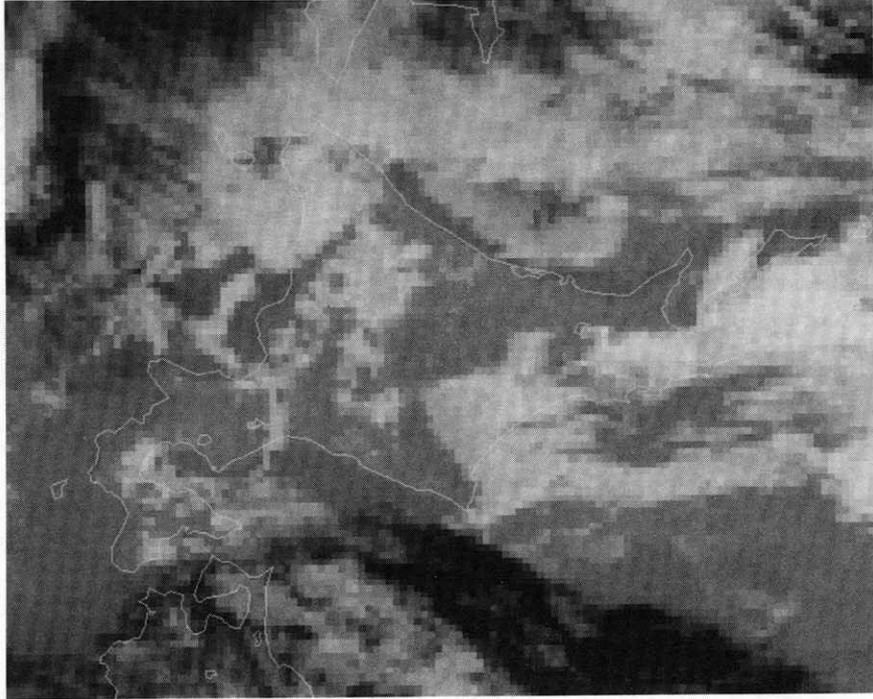


図15 近赤外差分画像（図13と同時刻）

Ⅲ. 夜間の台風中心の推定*

Ⅲ-1. はじめに

台風の発生期や衰弱期で風の鉛直シアーが大きい時、濃密な雲域から取り残された下層雲の中に台風の中心が見られる場合がある。このような台風の雲パターンは「Shear-pattern」または、「LCV(Low-level Cloud Vortex) pattern」と呼ばれる。

これらの雲パターンの解析は、日中は可視画像を利用することにより台風の中心位置の推定は容易であるが、夜間は赤外1画像とスプリット画像により推定しなければならないため、台風の中心位置の判定精度は悪くなる。

本調査では、夜間の台風中心位置推定の可能性につ

いて、「MTSATシミュレーション画像」を用いて、「Shear-pattern」を呈する台風を事例対象として取り上げ調査を行ったので報告する。

Ⅲ-2. 事例解析

図16は、1997年4月21日18UTCの地上天気図である。日本付近は日本海北部の前線を伴った低気圧及び山陰・九州地方から東シナ海に延びる前線により深い低圧部となっている。また、父島の南南西の海上には台風第1号があつて北北東に進んでいる。この台風は、4月14日にトラック島の北東海上で発生し、最盛期には中心に明瞭な眼が現れた。その後、日本の南海上で転向し、4月23日には日本の東海上で温帯低気圧となった。

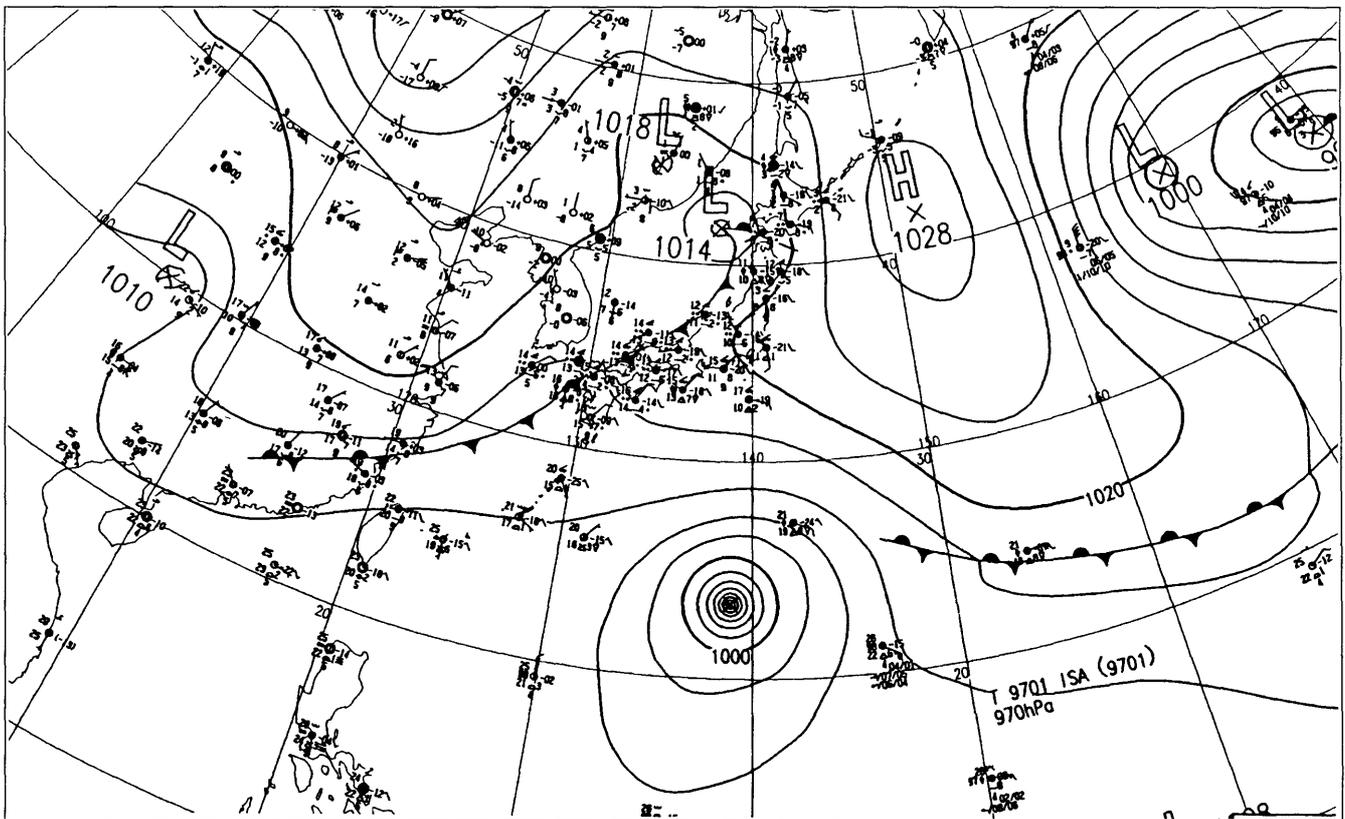


図16 地上天気図 (1997年4月21日18UTC)

*山崎 伸一

図17～20は、転向後の4月21日1706UTCの「NOAA」の赤外1・近赤外・近赤外差分・スプリットの「MTSATシミュレーション画像」である。なお、これらの画像は下層雲が最も見易いように階調を調整している。

赤外1画像と近赤外画像では、輝度の高い雲域a（厚い雲域）の西から南象限に輝度の低い雲域b（下層雲域）がわずかに見られるが形状の確認は困難である。

一方、近赤外差分画像ではこの雲域bに対応する領域は周囲の雲の無いところより白く見え、下層雲の形状の確認も容易である。

台風の中心は、眼やCDOが見られない場合は主に雲

バンドの曲率や中心を指向するCg・Cuライン等の入り込み等から推定される。この事例では、赤外1画像だけでは雲域bの形状がよく分からないので、雲パターンを「Band-pattern」とし、雲域aの雲バンドの曲率から台風中心を雲域aの雲システム内（図17の×付近）に推定することがある。しかし、近赤外差分画像を併用することで、雲域bの下層雲の曲率が確認できることから、「Shear-pattern」と判定し、中心位置は雲域aとbの中間付近（図19の×付近）に推定できる。

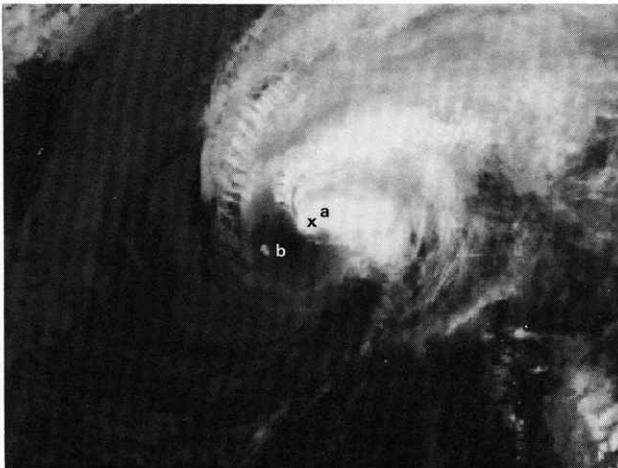


図17 赤外1画像
(1997年4月21日1706UTC)

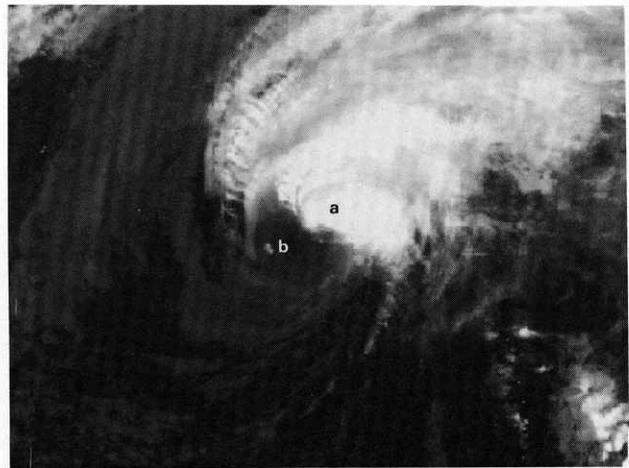


図18 近赤外画像
(図17と同時刻)

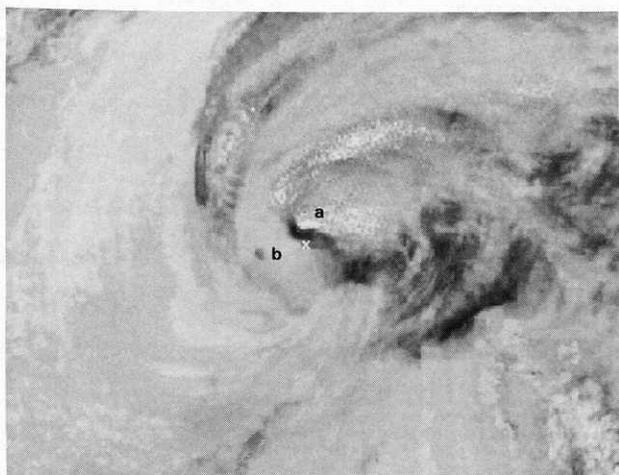


図19 近赤外差分画像
(図17と同時刻)



図20 スプリット画像
(図17と同時刻)

「Shear-pattern」時の台風を中心位置は、可視画像が取得されてから雲頂高度の高い雲域から取り残された下層雲渦の中心へと大幅に修正されることがある。しかし、今後、近赤外差分画像を併用することにより、進行速度の比較的速い雲域 a に引きずられることは少なくなり、夜間の台風中心の推定精度は向上するものと思われる。

また、スプリット画像でも近赤外差分画像に比べ、全体にコントラストははっきりしないものの、雲域 b

の識別が赤外 1 画像より容易なことから、「Shear-pattern」時の台風解析には有効であると思われる。

図21、22は約7時間後の4月22日00UTCの「GMS-5」の赤外 1 画像と可視画像である。赤外 1 画像では厚い雲域の風上側の下層雲域中の台風中心は解りづらいが、可視画像では下層雲渦が厚い雲域から取り残され、台風中心の推定は容易である。

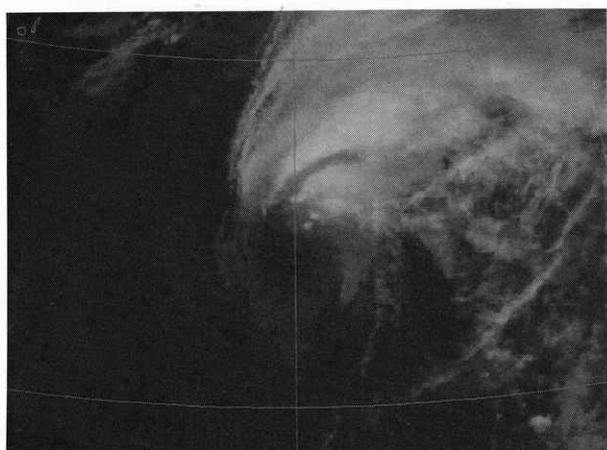


図21 GMS-5による赤外 1 画像
(1997年 4月22日00UTC)

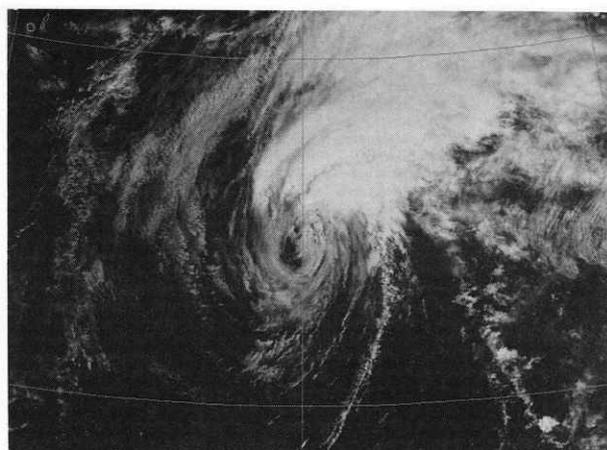


図22 GMS-5による可視画像
(図21と同時刻)

IV おわりに

「MTSAT」に搭載される $3.7\mu\text{m}$ 帯(近赤外)の新センサーによる夜間の霧及び下層雲の検出についての有効性を確かめるために、「NOAA」画像から「MTSAT」と同程度の分解能に落とした「MTSATシミュレーション画像」を作成して事例解析を行った。その結果、近赤外差分画像は赤外1画像と比べて夜間の海上や陸上の霧、及び「Shear-pattern」を呈する台風の中心付近の下層雲の識別が容易であることが分かった。一日4回の画像しか得られない「NOAA」と異なり、2000年春から運用予定の「MTSAT」では毎時の連続した画像が取得できるので、動画を用いることにより霧域の変化や移動などの実況監視にも威力を発揮するほか、「Shear-pattern」を呈する台風の中心推定位置の精度向上などが期待できる。

参考文献

- Ellrod, G. P., 1992: Potential Applications of GOES-I $3.9\mu\text{m}$ Infrared Imagery, Preprint Volume, Sixth Conf. on Satellite Meteorology and Oceanography, January 5-10, 1992, Atlanta, Ga., Amer. Meteor. Soc., Boston, 184-187
- Hunt, G. E., 1973: Radiative properties of terrestrial clouds at visible and infra-red thermal window wavelengths, Quart J. R. Met. Soc., 99, 346-369.
- Lee, T. F., F. J. Turk and K. Richardson, 1997: Stratus and Fog Products Using GOES-8-9 $3.9\mu\text{m}$ Data, Weather and Forecasting, 12, 664-677.
- T.Yamanouchi, K. Suzuki and S. Kawaguchi, 1987: Detection of Clouds in Antarctica from Infrared Multispectral Data of AVHRR, J. Meteor. Soc. Japan, 65, 949-962
- 操野年之、神田一史、1995: 「新センサー」の予報作業への利用について、平成6年度全国予報技術検討会資料、気象衛星センター、17-31.
- 藤田由紀夫、1994: GMS-5搭載の新センサーの気象解析への利用、気象衛星センター技術報告第28号、59-68.