

## 第6章 ひまわり8号の画像を利用した霧の監視

### 6.1 はじめに\*

霧とは、無数の微細な水滴または氷晶が空中に浮遊していて、地表面（地面や水面）における水平視程が1 km 未満となる現象をいう。霧による視程障害は、海上における船舶の航行、空港周辺における航空機の運航及び陸上における交通に大きな影響を与えることがあることから、その実況監視と予報の社会的意義は大きい。

気象庁では、陸上及び海岸線からおおむね20海里（約37 km）以内の沿岸の海域で濃霧のため交通機関等に著しい支障を及ぼすおそれのある場合に「濃霧注意報」を公表している。また、海上を航行する船舶に対し、濃霧により視程が0.3海里（約500 m（瀬戸内海は0.5海里（約1 km））以下になっているか、今後24時間以内になると予想した場合に全般海上予報区及び地方海上予報区に「海上濃霧警報」を公表している（池田・小坂 2015）。

霧の直接的な監視としては、気象官署や船舶による目視観測や視程計による観測が挙げられる。また、最近ではライブカメラの映像等により霧の推移を確認できる場合もある。しかし、これらの観測は点における観測であり、特に観測点が少ない海上での霧の面的な広がりへの把握には限界がある。このような限界を補う上で、静止気象衛星画像（以下、「衛星画像」）による霧の監視は有効である。衛星画像による霧の監視は、衛星がひまわり8号に変わっても観測原理は変わらず、各種画像の特性を生かして、日中は可視画像（VIS）と赤外画像（中心波長10.4 $\mu$ m帯、以下、「赤外画像（IR）」）の比較により、夜間は3.9 $\mu$ m帯と10.4 $\mu$ m帯の差分画像（以下、「差分2画像（S2）」）と赤外画像（IR）の比較により行われている。ただし、ひまわり8号では観測バンドが増加したこと、画像の撮影が高頻度化したことにより、従来の方法に加え、新しい霧の監視方法が開発されている（詳細については、6.5節参照）。なお、気象衛星は、元来上空から雲頂付近の放射強度を測定していることから、ひまわり8号による観測においても、下層雲の雲底が地上に達して霧となっているかどうかは判別できない。このため、衛星画像から見て霧である可能性が高い領域を6.2節及び6.4節では「霧判定域」と呼び、実際に霧が発生している領域とは区別することにする。また、上中層雲が存在している場合は、衛星画像から下層の霧の状況を確認できない。予めこれらのことに留意しておく必要がある。

### 6.2 霧の発生メカニズムと主な種類\*

#### 6.2.1 霧の発生メカニズム

霧が発生するためには、気温が露点温度よりも低く過飽和の状態であるか、気温が露点温度とほとんど等しく飽和に近い状態であることが必要条件として挙げられる。未飽和の気塊が過飽和となる過程については、実際の現象では様々な要因があるため複雑だが、気温と水蒸気量の変化の観点から単純化すると、次の3つの過程が考えられる。

気塊の温度の低下

温度と混合比（気塊に含まれる水蒸気の質量と残りの乾燥空気の質量の比）が異なる気塊の混合

気塊の外からの水蒸気の供給

---

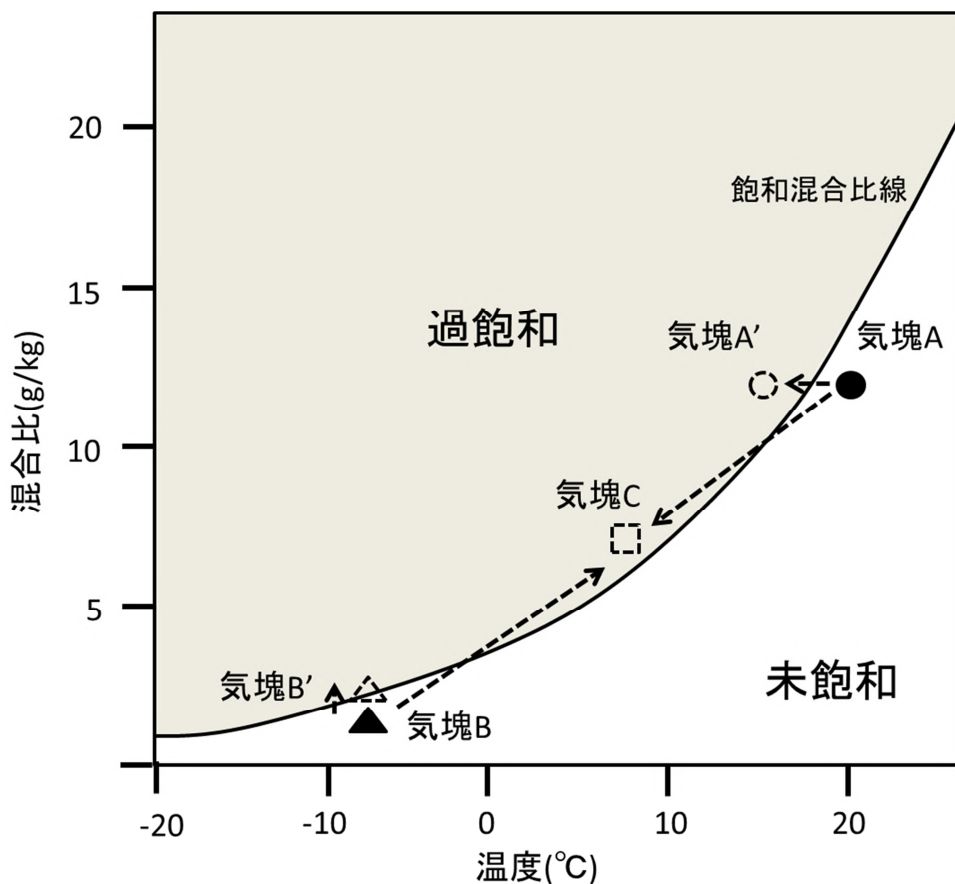
\*木下 仁、成田 正巳、吉松 雅行（気象庁予報部予報課）

第 6.2.1 図は、未飽和の気塊が過飽和となる過程を示すために、気塊の状態を横軸の温度と縦軸の混合比で表した図であり、曲線は飽和混合比を示している。この飽和混合比よりも混合比の大きな状態が過飽和の状態である。

の気塊の温度の低下によって霧が発生する場合、同図では、未飽和の気塊 A から過飽和の気塊 A' へと状態が変化することで示される。実際には、温度の低い地面や水面に熱を奪われることや放射冷却により気塊の混合比が一定のまま温度が低下し、気塊の混合比が飽和混合比よりも大きくなることで、水蒸気の凝結が起こり、霧が発生する。

の温度と混合比の異なる気塊の混合によって霧が発生する場合、同図では、2 つの未飽和の気塊 A と気塊 B が混合して過飽和な気塊 C へと状態が変化することで示される。気塊 A と気塊 B を混合すると、同図では気塊 A と気塊 B を結ぶ直線上の点にある気塊 C となる。飽和混合比線は下に凸な曲線であるため、気塊 A と気塊 B が飽和に近い状態である場合は、気塊 C が過飽和の状態となることがあり、水蒸気が凝結して霧が発生する。

の気塊の外からの水蒸気の供給による場合、同図では、未飽和の気塊 B から飽和に近い気塊 B' へと状態が変化することで示される。具体的には、地面や水面からの水蒸気の供給や上層から落下した雨滴の蒸発により、気塊の混合比が増加して飽和混合比に近づくため、霧が発生しやすくなる。同図では、未飽和の気塊 B から飽和に近い気塊 B' へと状態が変化することで示される。



第 6.2.1 図 霧の発生に関する状態図

## 6.2.2 霧の主な種類

霧は気塊が過飽和の状態となる要因によっていくつかに分類されるが、実際には複数の要因が重なって発生することが多い。以下、主な霧の発生要因などについて解説する。

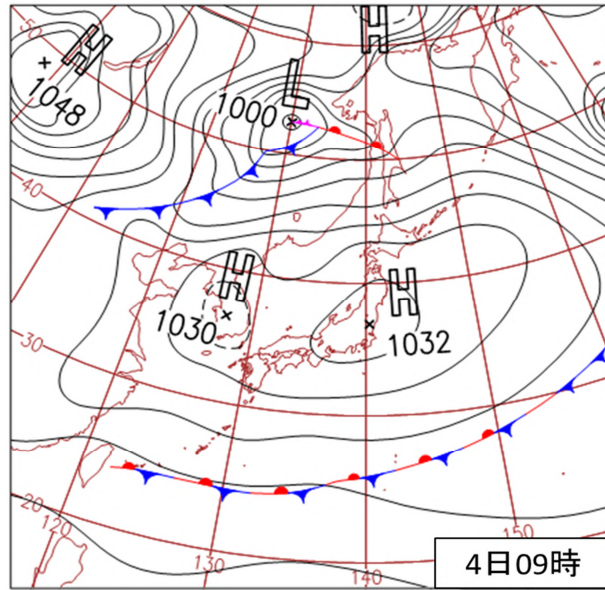
### 6.2.2.1 放射霧

放射霧は、地面と地面に近い下層の湿潤な気塊が夜間に放射冷却によって熱を奪われて発生する霧である。第6.2.1図では、気塊Aが気塊A'となる過程で表すことができる。穏やかな晴天の夜、水蒸気を多く含む気塊があった場合に発生しやすい。霧層の厚さは数十m程度と薄いことが多い。一般に、放射霧は地表から上空へと拡がっていき、日の出の時刻頃に最も厚くとなる。その後、日射により地面が温められると、地面に近い下層の気塊の温度が上昇し、その上層の気塊と混合して霧は消散する。この消散は太陽放射が透過しやすい霧周辺部の薄い層から始まり、霧内では地面に近い層から上方へと向かっていく。

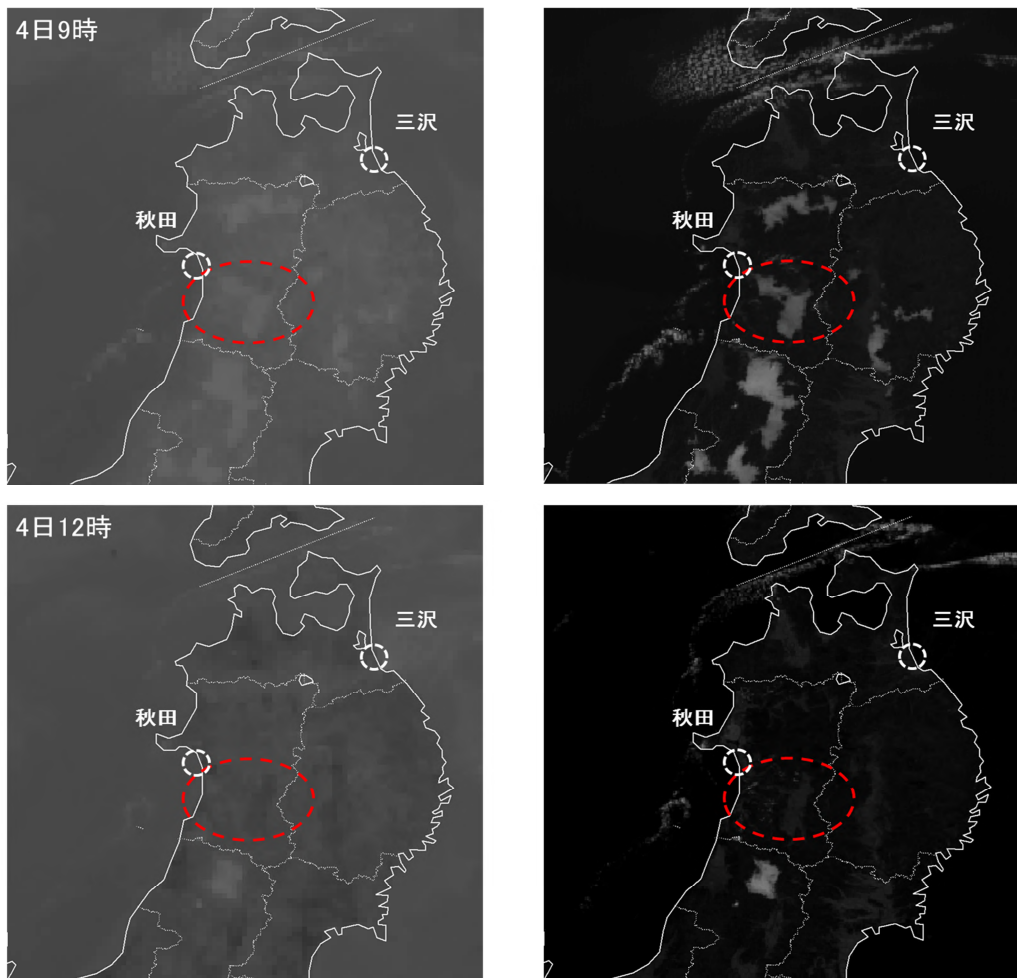
放射霧は主に陸上で発生する霧であり、内陸の谷や盆地に蓄積した湿潤な気塊が放射冷却により冷やされて発生することが多い。放射霧は風が弱いときに発生することが多いため、あまり移動せずにほぼ同じ領域で消散することが多いが、沿岸部で発生した放射霧が海上に拡がっていく場合もある。一般に風が強くなると、霧層とその上の層の間で鉛直混合が生じ、霧は消散する。

放射霧の典型的な例としては、降水をもたらした低気圧が通過した直後の早朝に発生する霧が挙げられる。降水があった直後は、下層の気塊に含まれる水蒸気量が増加している。放射冷却によって温度が下がった地面に近い下層の気塊が冷やされ、気温が露点温度を下回ると、水蒸気が凝結して霧となる。地面に近い下層の気塊が冷却され、その上層の気塊よりも相対的に冷たくなることから逆転層を生じ、霧層は維持される。このような陸上の霧の実況監視については、接地層における安定度の日変化（日中不安定、夜間安定）、また、海陸風も含めた風の日変化の監視も重要となる。

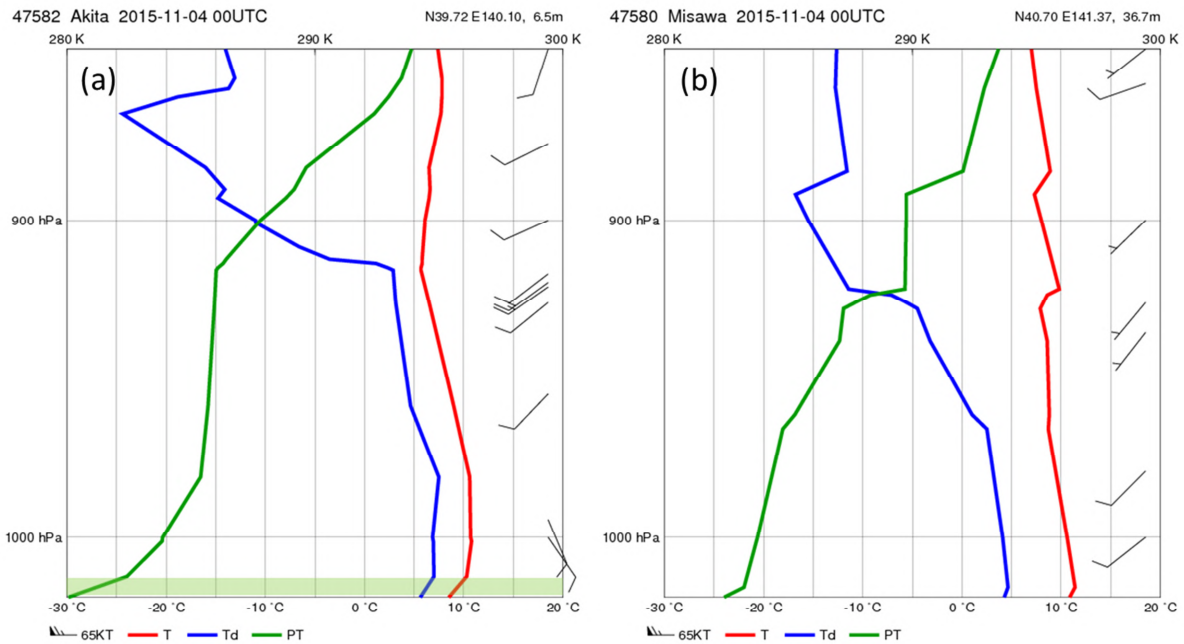
以下、具体例として2015年11月4日午前を中心に秋田県付近で発生した放射霧の事例を紹介する。第6.2.2図は4日9時の地上天気図である。2日、秋田では気圧の谷の通過によりまとまった降水があった。その後も弱い気圧の谷の影響を受け、相対湿度が100%に近い状況となるなど地面に近い下層は湿っていた。3日午後以降は本州付近に中心を持つ移動性高気圧に覆われて晴れたため、3日夜から4日朝にかけて放射冷却によって温度が下がった地面に近い下層で水蒸気が凝結し、放射霧が発生した所が多かった。第6.2.3図は4日9時と12時の東北地方付近における赤外画像（IR）と可視画像（VIS）である。9時の両画像を比較すると、可視画像（VIS）では秋田、山形、岩手県の内陸で雲域を確認できるが、赤外画像（IR）ではこれらの雲域を確認することができない。これは雲域の雲頂高度が低く地面に近いことを示しており、霧判定域であると言える。12時には地面に近い下層における気温の上昇により可視画像（VIS）で上述の雲域はほとんどなくなっている。第6.2.4図の秋田と三沢のエマグラムを比較すると、秋田では最下層の接地逆転層において湿数が3以下と湿っており、この湿った層が霧に対応していると考えられる。また、逆転層の上に比較的厚い湿った安定層が形成されている。秋田地方気象台では3日21時過ぎに、4日昼前までを対象にした濃霧注意報を県内に発表した。同気象台では3日23時半頃から4日8時過ぎにかけて、秋田空港では4日10時過ぎにかけて霧を観測した。この放射霧の影響で、同空港では4日午前中発着の航空機に影響が出た。



第6.2.2図 2015年11月4日9時の地上天気図



第6.2.3図 4日9時(上)、12時(下)の東北地方付近における衛星画像(左:赤外画像(IR)、右:可視画像(VIS))  
赤破線内は霧判定域の一つ、印の中心は秋田、三沢の高層観測地点を示す。



第6.2.4図 4日9時の (a) 秋田、(b) 三沢における高層観測のエマグラム

赤線は気温、青線は露点温度、緑線は温位、黄緑の網掛け領域は湿数3以下の層を示す。

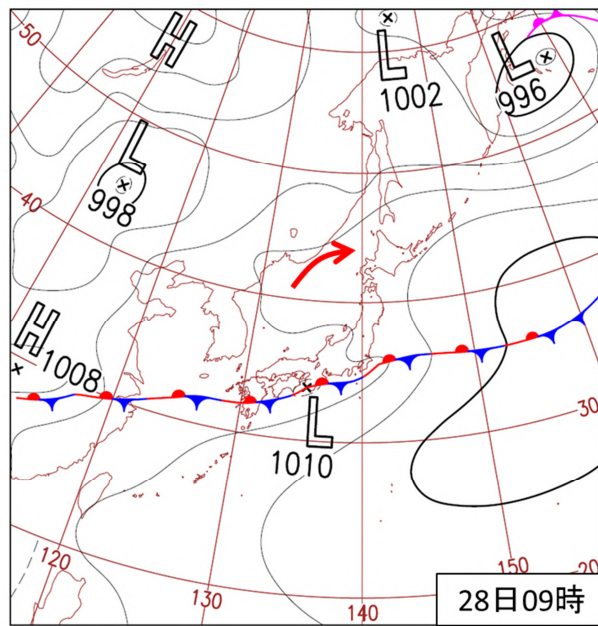
### 6.2.2.2 暖かい気塊の移流霧

暖かく湿った気塊が相対的に冷たい地表面（地面や水面）の上を水平に移動するとき、霧が発生することがある。これを暖かい気塊の移流霧という。ここでは、層雲の雲低が低くなることによって発生する暖かい移流霧について考える。冷たい地表面により冷やされた下層の冷気塊と上層の暖気塊との間の逆転層の下で乱流による鉛直混合が起こると、概念的には第6.2.1図において暖気塊Aと冷気塊Bが混合して過飽和な気塊Cとなる過程により凝結が起こる（詳細については、沢井（1982）を参照）。気塊の移流と共に鉛直混合による凝結が起こる高度が低くなり、この高度が地表面に達すると霧となる。このような移流霧は海霧の主因をなし、広範囲に拡がることもある。

暖かい気塊の移流霧は、高気圧後面の下層暖気移流の場で発生しやすく、このような環境場では霧にならなかったとしても低視程となる場合が多い。海上で発生した移流霧は陸地に達すると次第に蒸発して消散するが、沿岸部では移流霧の影響が残る場合がある。なお、風が弱い場合は、移流による暖気の冷却と逆転層の下における乱流による鉛直混合は起こりにくい。したがって、暖かい気塊の移流霧が発生するためにはある程度の風速が必要となる。また、移動してくる暖気塊と地表面の間の温度差が大きく、冷却の効果が大きいほど暖かい気塊の移流霧が発生しやすくなる。海面水温の日変化は小さいことから、海上の霧は陸上の霧と違って日変化が小さい。このため、海上で実況の移流霧が確認され、総観場が大きく変わらなければ、この霧はしばらく消散しないと考えることができる。

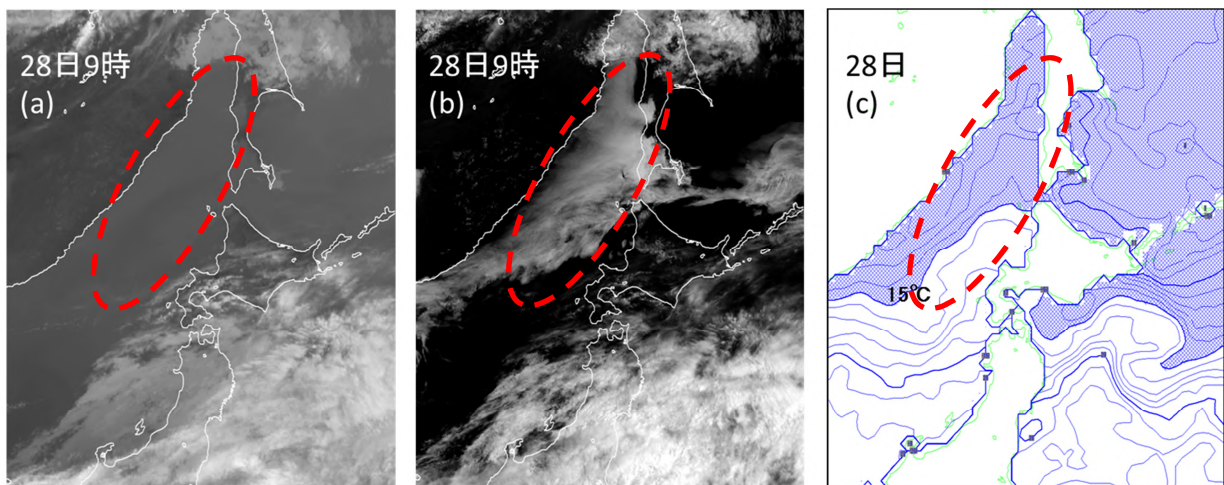
春から夏にかけて移動性高気圧が日本の東に抜けたとき、北海道の東海上から三陸沖にかけて発生する霧は暖かい気塊の移流霧の典型例である。これらの海域の海面水温は親潮の影響で比較的低温であり、移動性高気圧の後面における南からの暖湿気流により移流霧が発生しやすい。また、一般に瀬戸内海では冬から夏にかけて気温の上昇よりも海面水温の上昇が遅いため、相対的に海面水温が低くなり、暖かく湿潤な気塊の流入により移流霧が発生しやすい。

以下に具体例として、2016年6月下旬に沿海州南部沖から北海道西方海上に発生した暖かい気塊の移流霧の事例を紹介する。27日から28日にかけて、日本海には気圧の尾根があり、日本海北部・中部には南からの湿潤な気塊が流入しやすい状況であった（第6.2.5図）。28日9時の赤外画像（IR）と可視画像（VIS）を比較すると、同海域では広範囲に霧判定域を解析できる（第6.2.6図(a)、(b)）。また、同海域の海面水温は15以下と低い（同図(c)）。これらのことから、この霧は高気圧後面の南から流入した湿潤な気塊が相対的に冷たい海面によって冷やされて発生した移流霧であると考えられる。霧雨を観測していた稚内の28日9時のエマグラム（図略）によると、900 hPa付近に沈降性逆転層が見られ、これより下では気温と露点温度の差が小さく湿っていた。



第6.2.5図 2016年6月28日の9時の地上天気図

赤矢印は下層の暖湿流を示す。



第6.2.6図 28日9時の北海道付近における衛星画像（(a) 赤外画像（IR）、(b) 可視画像（VIS））及び(c) 海面水温分布図

青実線：1 毎、網掛域：15 以下。赤破線内は霧判定域を示す。

### 6.2.2.3 蒸発霧または蒸気霧（冷たい気塊の移流霧）

蒸発霧または蒸気霧（冷たい気塊の移流霧）は、冷たい気塊が地表面（地面や水面）の上を水平に移動するときに発生する。第 6.2.1 図では、地表面から水蒸気の供給を受けた冷たい気塊 B が気塊 B' となって飽和状態に近づき、さらに地表面付近の相対的に暖かく湿った気塊 A と気塊 B' が混合して過飽和な気塊 C となる過程で表わすことができる。陸上では、冷たい気塊が湖面や川面付近の暖かく湿った気塊と鉛直混合して発生するケースが多い。海上では、暖かい海面上に陸上や海面水温の低い海域から冷たい気塊が移流することで、海面付近の暖かい気塊と鉛直混合を起こして発生するケースがある。放射霧と同様に、冷たい気塊の移流霧は最初に地表面付近で発生し、上層に広がっていく。風速が大きい場合は、霧層の上端においてその上層の乾燥した気塊との鉛直混合が強くなり、霧の消散が顕著になる。このため、暖かい気塊の移流霧とは異なり、風速が大きい場合は冷たい移流霧の持続に不利となる。

晩春から夏にかけてオホーツク海高気圧から南に吹き出す低温の気塊が相対的に暖かい海面の上を流れるうちに次第に湿潤な状態となり、三陸沖で霧が発生することがある。これは、冷たい気塊の移流霧の典型例である。

### 6.2.2.4 前線霧または混合霧

温暖前線等の近傍で発生する前線霧は、前線付近の上層の暖気層内で形成された雨滴が下層の寒気層内で蒸発して下層の水蒸気が増加すること、蒸発による潜熱の吸収もあって気温が低下することにより再度凝結して発生する。第 6.2.1 図の気塊 B から気塊 B' への変化と気塊 A から気塊 A' への変化を合わせた過程で表すことができる。また、前線近くの下層の冷たい気塊内では、低高度で逆転層が生じ鉛直混合が抑えられることから、発生した霧が消散しにくい環境となる。

前線付近は性質の異なる気塊が接する場であることから、第 6.2.1 図の気塊 A と気塊 B が混合して気塊 C となる過程で表わされるような 2 つの気塊の混合による霧が発生しやすい。なお、衛星画像では、前線霧または混合霧は上中層雲に遮られて確認できない場合がほとんどである。

### 6.2.2.5 滑昇霧

滑昇霧は湿った空気塊が斜面を上昇し、断熱膨張することによって冷やされて発生する霧である。第 6.2.1 図では気塊 A が気塊 A' となる過程で表すことができる。山の斜面や海からの暖かな湿潤気塊が流入しやすい高地で見られ、空港等では航空機事故につながらないよう監視が強化されている。スケールの小さい局所的な霧であるため、衛星画像では確認できない場合が多い。

## 6.3 ひまわり8号 RGB 合成画像による霧の監視\*

### 6.3.1 はじめに

ひまわり8号は、これまでのひまわり6号・7号よりも観測バンドが増え、16種類の観測画像が得られるようになった。この16種類の観測画像を有効に活用する方法として、RGB合成画像による解析手法が挙げられる。昨年度(平成27年度)の予報技術研修テキスト(以下、「研修テキスト」)では、ひまわり8号の各観測バンドの特徴やそれらの画像を利用して作成する標準的なRGB合成画像の基礎を解説した。今年度はその続編として、霧の監視に関わるRGB合成画像の利用方法を紹介する。

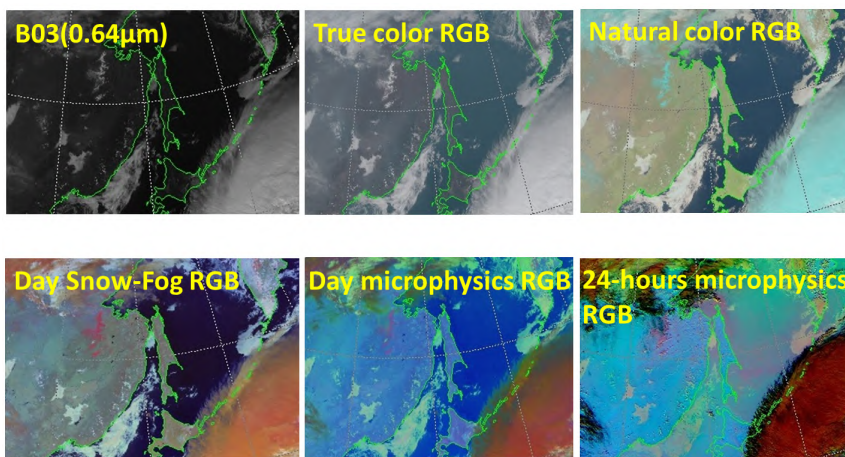
### 6.3.2 霧監視に適したひまわり8号の観測画像

ひまわり8号の16種類の観測バンドの中には、霧監視に適した観測バンドとそうでないバンドとがある。以下にその特徴について述べる。

霧は地表面付近で発生するため、霧監視には地表面付近の状態を観測できる可視バンド(B01~B03)の3画像、近赤外バンド(B04~B06)の3画像、及び赤外バンドの「大気の窓」波長帯(B07、B11、B13~B15)の5画像が適している。これに対して、水蒸気やオゾン、二酸化炭素の吸収帯を観測するバンドは、地表面や大気から放射される赤外線が、大気中の水蒸気、オゾン、二酸化炭素等に吸収されるため、地表面付近から放射された赤外線は衛星にはほとんど届かない。このため、これらの観測バンドの画像では、地表面付近の状態は観測できない。すなわち水蒸気やオゾン、二酸化炭素の観測バンドは、霧監視には不向きであるといえる。

赤外バンドの「大気の窓」波長帯は、日中や夜間を問わず24時間の観測ができるが、可視と近赤外バンドは日中でしか利用できない。また観測画像の解像度(分解能)を考慮すると、日中の霧監視は、解像度の高い可視や近赤外画像を利用し、夜間は赤外バンドの「大気の窓」波長帯の画像を利用するのが最適と考える。

### 6.3.3 霧監視に適したひまわり8号 RGB 合成画像



第6.3.1図 日中の各種RGB画像(2015年10月7日03UTC)

第6.3.1図には、日中の霧監視に有効な各種の画像を用いて霧発生時(2015年10月7日03UTC)の様子を示した。シベリア、日本海北部、間宮海峡や千島列島沿いのオホーツク海には所々で霧が発生しているが、各画像で霧の見え方が異なる。比較すると、氷晶からできた雲と水の粒からできた雲や霧を判別できるDay Snow-Fog RGB合成画像(左下)やNatural color RGB合成画像(右上)の方が他の

画像よりも霧域を明瞭に表現しており日中の霧監視に適していることがわかる。なお夜間の霧監視については、後述するようにNight microphysics RGB合成画像が適している。

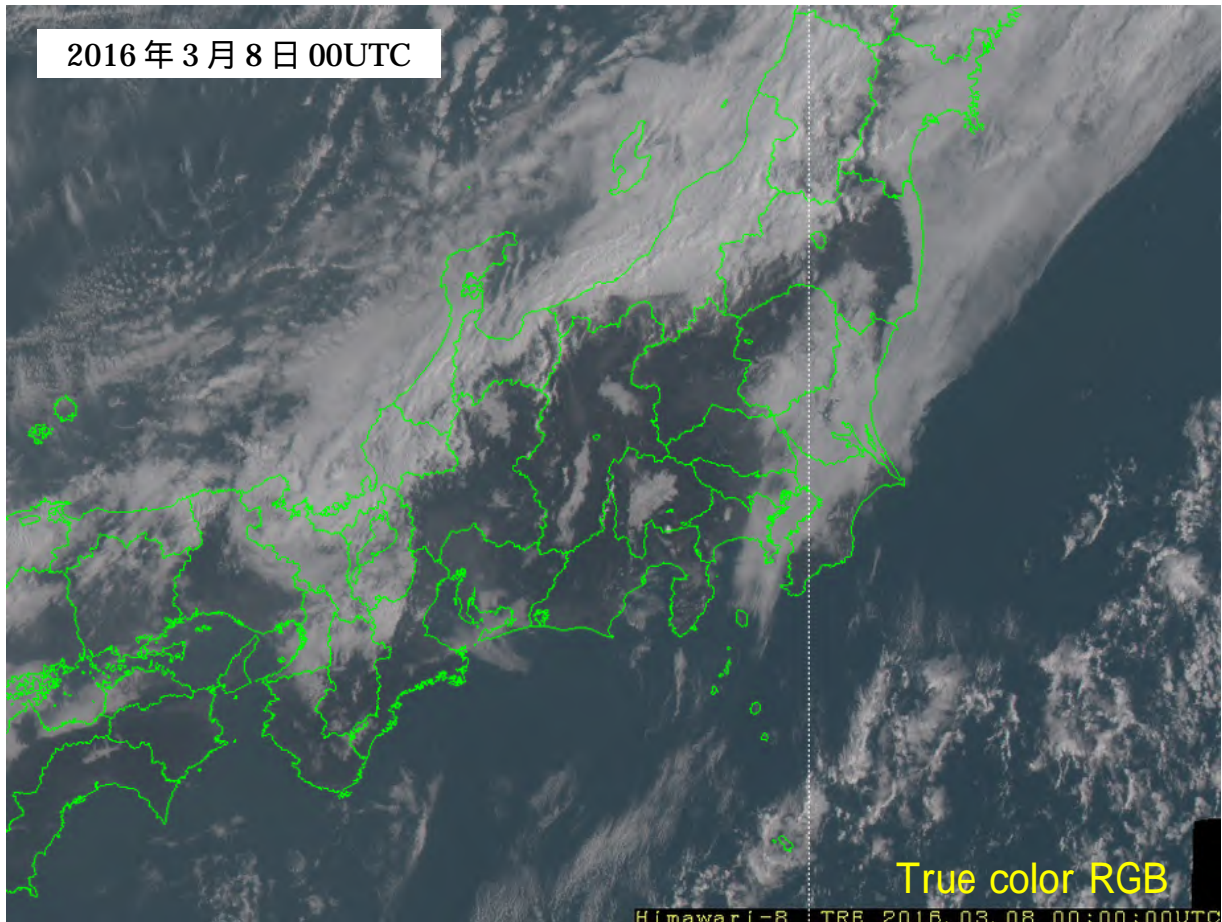
\*寺坂 義幸(気象衛星センターデータ処理部解析課)



#### 6.3.4 ひまわり8号 RGB 合成画像を利用した霧監視

ひまわり8号 RGB 合成画像を利用した霧の監視について、日中、夜間及びその境界の3つの時間帯に分けてRGB合成画像毎にその特徴を述べる。

##### 【日中】True Color RGB 合成画像



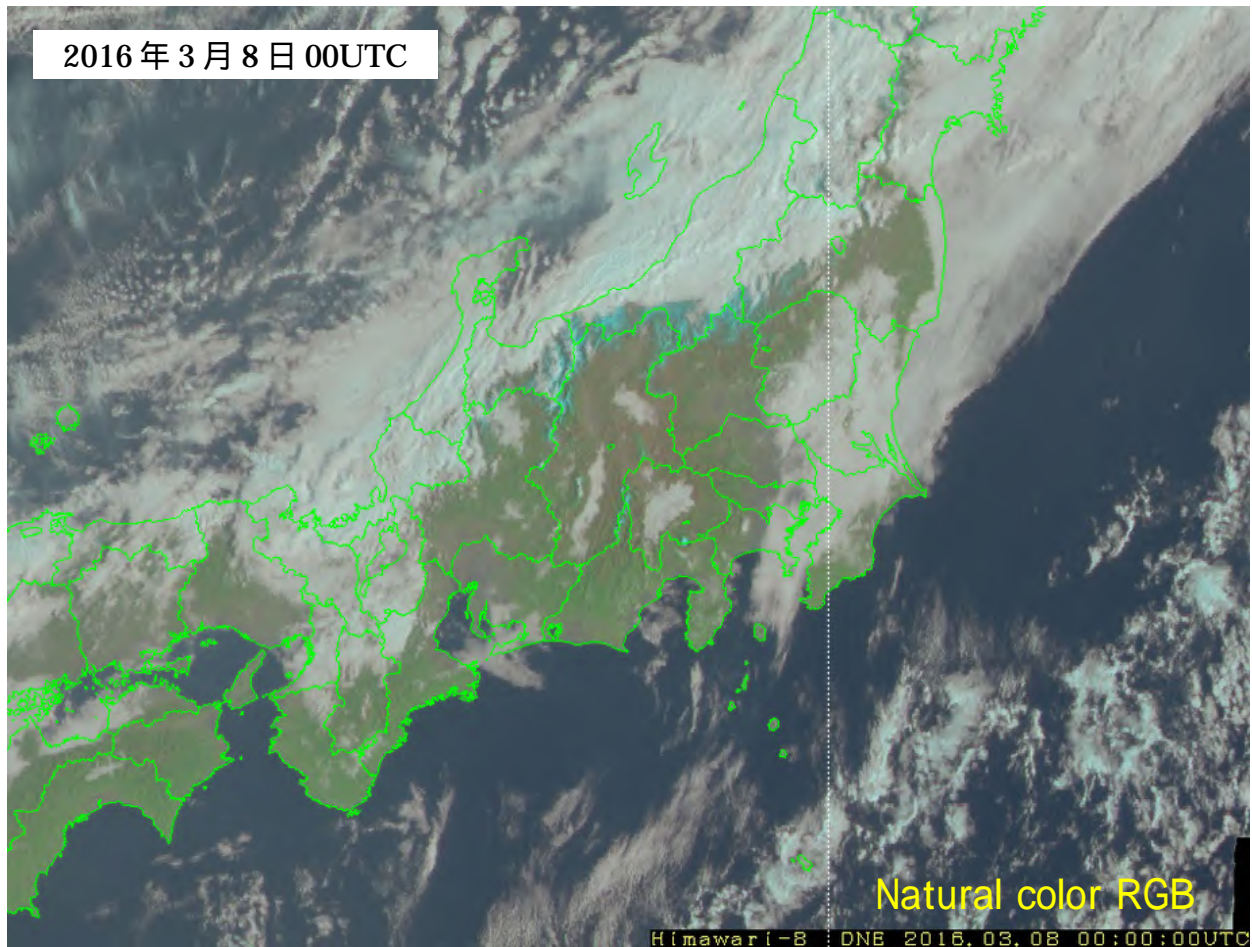
第6.3.2図 True color RGB 合成画像(2016年3月8日00UTC)

True color RGB 合成画像は、ひまわり8号の観測バンド B01(0.47 $\mu$ m)、B02(0.51 $\mu$ m)、B03(0.64 $\mu$ m)の画像をそれぞれ青・緑・赤の色に割り当てて、重ね合わせた画像である(第6.3.2図)。True color RGB 合成画像は、肉眼で見える色合いに近い表示となることから、監視対象の画像の色により、雲・霧と黄砂・火山噴煙等の区別が容易となる。霧域の特徴は、色が白く表面は滑らかで輪郭が明瞭に見えることである。しかし可視域の観測バンドの画像を利用しているため、日中にしか利用できない。太陽高度が高くなる正午頃は明瞭に見えるが、太陽高度が低い朝方や夕方時間帯は、霧が見えにくくなることに注意が必要である。

True color RGB 合成画像を利用した霧の監視上の留意点：

- ・このRGB合成画像は、従来の可視画像と同様に霧や雲が白く表示されるため理解しやすい。
- ・3種類(B01～B03)の可視画像を用いて作成しているため、日中のみの利用となる。

## 【日中】Natural color RGB 合成画像



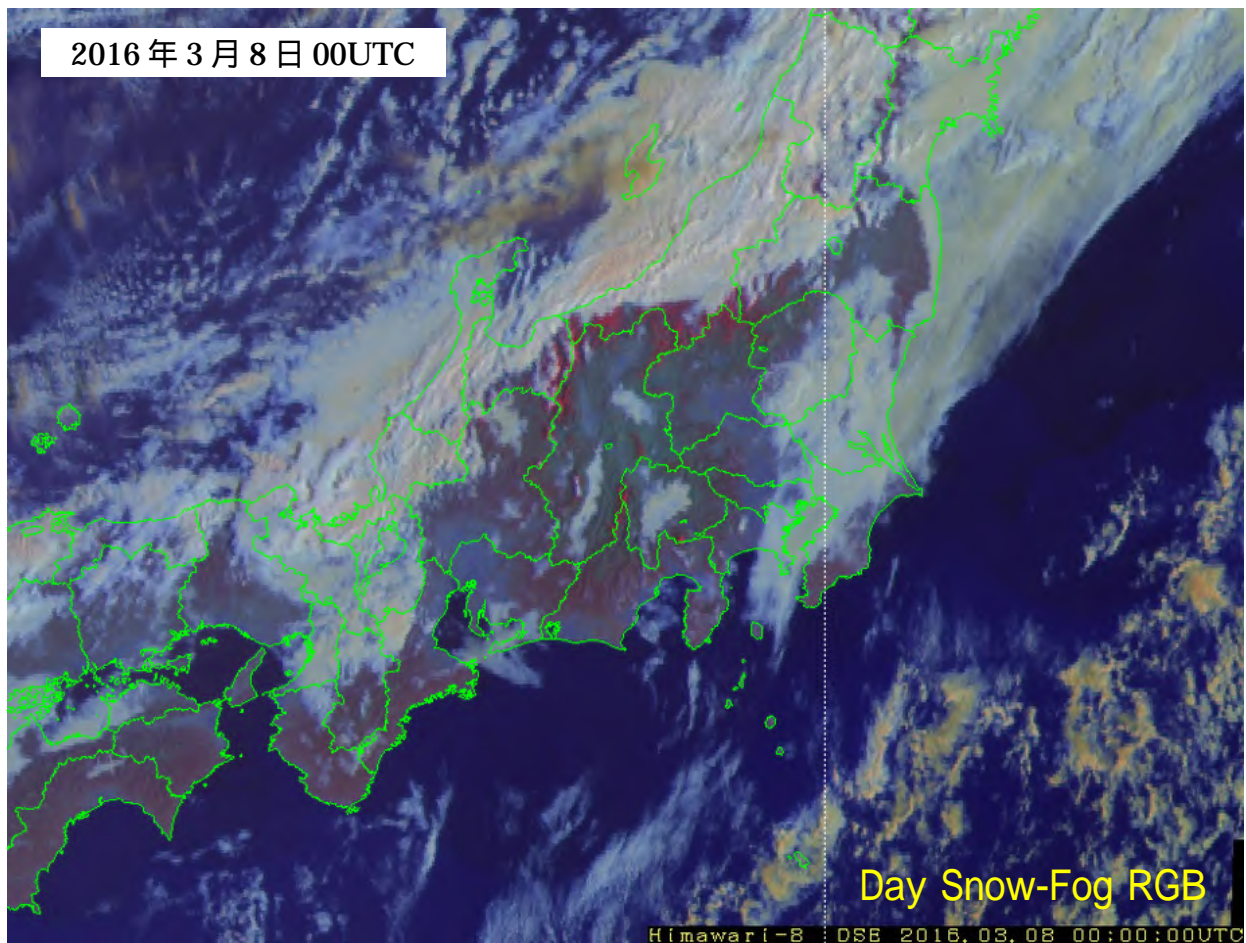
第6.3.3図 Natural color RGB 合成画像(2016年3月8日00UTC)

Natural color RGB 合成画像は、ひまわり 8 号の観測バンド B03(0.64  $\mu\text{m}$ )、B04(0.86  $\mu\text{m}$ )、B05(1.6  $\mu\text{m}$ ) の画像をそれぞれ青・緑・赤の色に割り当てて、重ね合わせた画像である(第 6.3.3 図)。B03 は可視、B04 と B05 は近赤外の観測バンドである。この画像では、水の粒でできた雲・霧(白色)と氷晶からできた雲(シアン色)との区別、雪氷域(シアン色)や植生(緑色)などの分布が判別しやすい。氷晶雲と雪氷域の違いは動画等で判別できる。また B03 の画像(以下、「可視画像(VIS)」)と 2 種類の近赤外バンド(B04、B05)の画像が使われているため、地表面や下層雲の様子が可視画像(VIS)や前項の True color RGB 合成画像より明瞭に判別できる。上図では関東甲信地方の霧(白色)や新潟県、長野県、群馬県の県境付近に雪氷域(シアン色)がよく見える。

Natural color RGB 合成画像を利用した霧の監視上の留意点：

- ・水の粒でできた雲・霧(白色)と氷晶からできた雲・雪氷域(シアン色)が判別しやすい。
- ・霧や雪氷域が可視画像(VIS)や True color RGB 合成画像より明瞭に見える。
- ・可視や近赤外バンドの画像を用いて作成しているため、日中のみ利用となる。

## 【日中】Day Snow-Fog RGB 合成画像



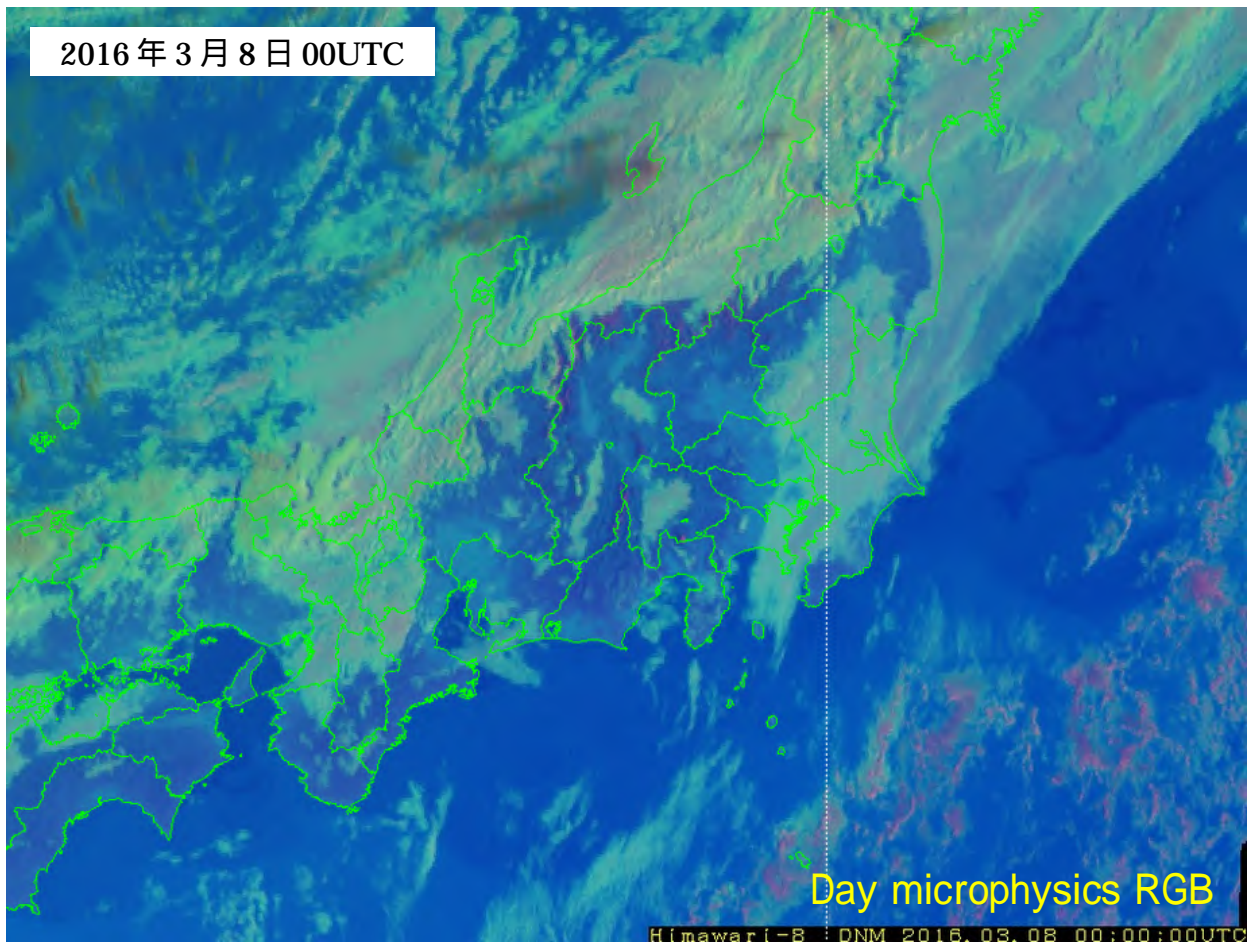
第6.3.4図 Day Snow-Fog RGB 合成画像(2016年3月8日00UTC)

Day Snow-Fog RGB 合成画像は、ひまわり 8 号の観測バンド B04(0.86 $\mu$ m)、B05(1.6 $\mu$ m)、B07(3.9 $\mu$ m)の太陽光反射成分の画像を、それぞれ赤・緑・青の色に割り当てて、重ね合わせた画像である(第6.3.4図)。このRGB合成画像は、水の粒からできている雲・霧(白色)や雪氷域(赤色)などに対する近赤外画像の特性を利用しており、日中の霧・下層雲と雪氷域との判別に有効である。

Day Snow-Fog RGB 合成画像を利用した霧の監視上の留意点：

- ・可視画像(VIS)だけでは判別しにくい、霧・下層雲(白色)と雪氷域(赤色)の判別がしやすい。
- ・近赤外バンド(B04、B05)やB07バンドの太陽光反射成分を用いているため、日中のみ利用となる。

## 【日中】Day microphysics RGB 合成画像



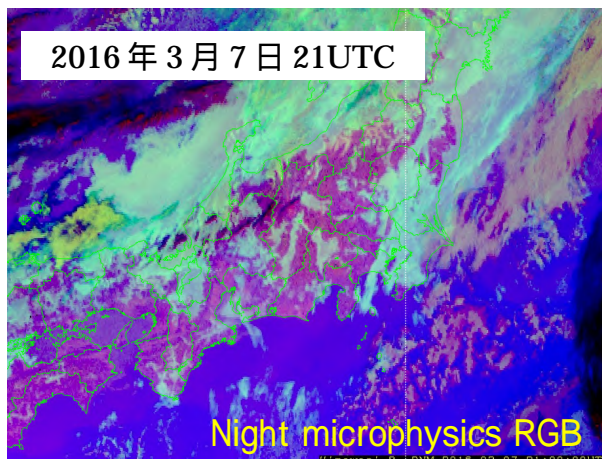
第 6.3.5 図 Day microphysics RGB 合成画像(2016年3月8日00UTC)

Day microphysics RGB 合成画像は、ひまわり 8 号の観測バンド B04( $0.86\mu\text{m}$ )の画像、B07( $3.9\mu\text{m}$ )の太陽光反射成分の画像、B13( $10.4\mu\text{m}$ )の画像をそれぞれ赤・緑・青の色に割り当てて、重ね合わせた画像である(第 6.3.5 図)。この画像は、雲粒の相(水の粒からできた雲と氷晶からできた雲)の違いや雲粒の大きさに敏感な反射特性を持つ B07 の太陽光反射成分を利用して、日中のさまざまな雲型の判別ができるため雲解析に有効である。また水の粒でできた霧・下層雲(薄い白系色)と上層の氷晶雲(薄緑色や茶色)との判別、雪氷域(赤紫色)、植生(青色)、山火事や火山などのホットスポット(空色)等の検出に用いることができるなど、汎用性の高い RGB 画像である。

Day microphysics RGB 合成画像を利用した霧の監視上の留意点：

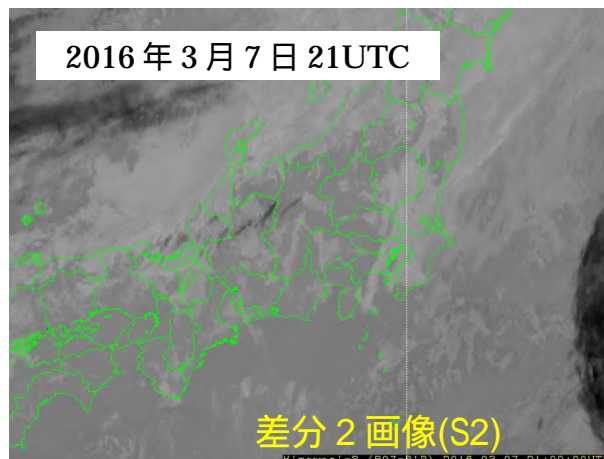
- ・霧や下層雲は、薄い白系色として表現される。
- ・近赤外バンド(B04)の画像と B07 の太陽光反射成分の画像を用いて作成しているため、日中のみの利用となる。

【夜間】 Night microphysics RGB 合成画像



第 6.3.6 図 Night microphysics RGB 合成画像  
(2016 年 3 月 7 日 21UTC)

Night microphysics RGB 合成画像では、夜間の霧や下層雲は青白色(緑白色)に表示される。



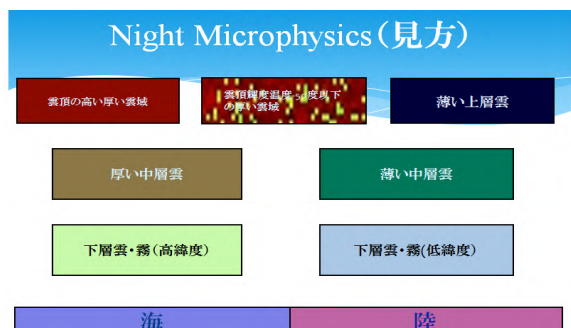
第 6.3.7 図 差分 2 画像(S2)  
(2016 年 3 月 7 日 21UTC)

差分 2 画像(S2)では、夜間の霧や下層雲が白く表示されて見える。

Night microphysics RGB 合成画像は、ひまわり 8 号の観測バンド B13(10.4 μm)と B15(12.4 μm)の差分の画像(以下、「差分 1 画像(S1)」)、B07(3.9 μm)と B13(10.4 μm)の差分の画像(以下、「差分 2 画像(S2)」)、B13(10.4 μm)の画像をそれぞれ赤・緑・青の色に割り当てて、重ね合わせた画像である(第 6.3.6 図)。この RGB 合成画像は、一般的に夜間の雲型判別に利用される。特に霧や下層雲はシアン系の青白色(緑白色)に表示され、夜間の霧監視には便利な RGB 画像である。ただし霧と下層雲は同じ青白色(緑白色)に表示されるため、色調だけでは霧と下層雲との区別はできない。霧と下層雲を区別するには、雲頂の滑らかさや霧特有の形状、その時の気象状況を考慮する必要がある(6.3.5 項の霧域抽出の着目点を参照)。

Night microphysics RGB 合成画像を利用した霧の監視上の留意点：

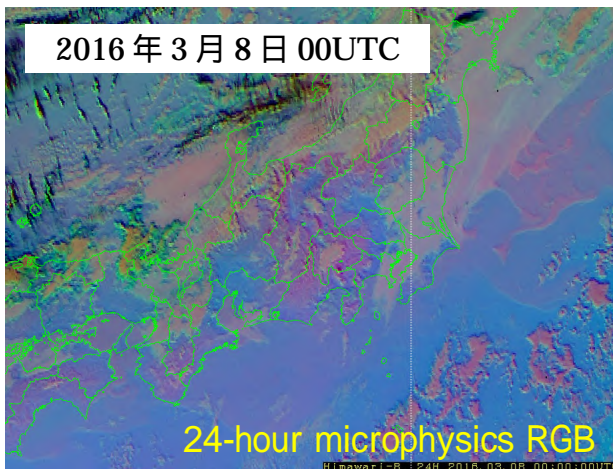
- ・夜間の霧や下層雲は青白色(緑白色)となり、表示色のみでは霧と下層雲の区別はつかない。
- ・B07 の画像を用いているため、夜間みの利用となる。



第 6.3.8 図 Night microphysics RGB 合成画像の色見本 (EUMETSAT 資料による)

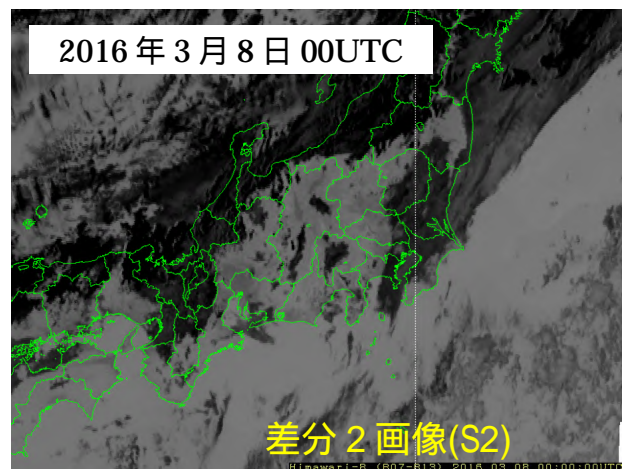
なお、この Night microphysics RGB 合成画像は、赤外バンド B13(10.4 μm)の画像(以下、「赤外画像(IR)」)に RGB 画像の青色を割り当てている。このため、雲や霧、地表面や海面の温度の違いが、そのまま RGB 合成画像の色調に影響する。従って、霧や下層雲の見え方も、温度の低い高緯度と温度の高い低緯度では多少異なる。また季節の違いによっても影響を受ける。第 6.3.8 図には欧州気象衛星開発機構(EUMETSAT)の資料による色見本を示した。図にあるように「下層雲・霧」は高緯度と低緯度では、対応する色調が異なることに注意が必要である。

## 【24時間】24-hour microphysics RGB 合成画像



第 6.3.9 図 24-hour microphysics RGB 合成画像  
(2016年3月8日00UTC)

24-hour microphysics RGB 合成画像は、24時間連続して雲や霧の監視ができる。



第 6.3.10 図 差分2画像(S2)  
(2016年3月8日00UTC)

差分2画像(S2)は、朝になって太陽光が当たり始めると雲や霧は黒く表示されて利用できなくなる。

24-hour microphysics RGB 合成画像は、ひまわり8号の観測バンド B13(10.4 $\mu$ m)と B15(12.4 $\mu$ m)の差分画像(差分1画像(S1))、B13と B11(8.6 $\mu$ m)の差分画像、B13の画像(赤外画像(IR))赤・緑・青の色にそれぞれ割り当てて、重ね合わせた画像である(第6.3.9図)。この画像は、第6.3.10図に示した差分2画像(S2)とは異なり太陽光の影響を受けない赤外バンドの画像のみで作成されているため、基本的に24時間連続してほぼ同じ色合いで霧や雲を観測することができる。ただし、太陽光や放射冷却等による温度変化の影響を受けるため、温度が変化した陸地等は色調が変化する。

可視や近赤外画像を利用した日中用のRGB画像(Natural color RGBやDay Snow-Fog RGB等)は、24-hour microphysics RGB 合成画像よりも明瞭ではあるが、夜間は観測できない。また夜間ではNight microphysics RGB 合成画像の方が明瞭ではあるが、朝になって太陽光が当たるようになると太陽光反射の影響により夜間のように表示できなくなる。このため24-hour microphysics RGB 合成画像は、特に朝夕の時間帯の霧監視に有用である。

24-hour microphysics RGB 合成画像を利用した霧の監視上の留意点：

- ・昼夜通した24時間連続して、ほぼ同じ色合いで霧や雲を観測することができる。
- ・日中の霧域は近赤外を用いたRGB合成画像(Natural color RGBやDay Snow-Fog RGBなど)の方が明瞭に見え、夜間の霧域はNight microphysics RGB 合成画像の方が明瞭に見える。24-hour microphysics RGB 合成画像は朝夕の時間帯の霧監視に有用である。

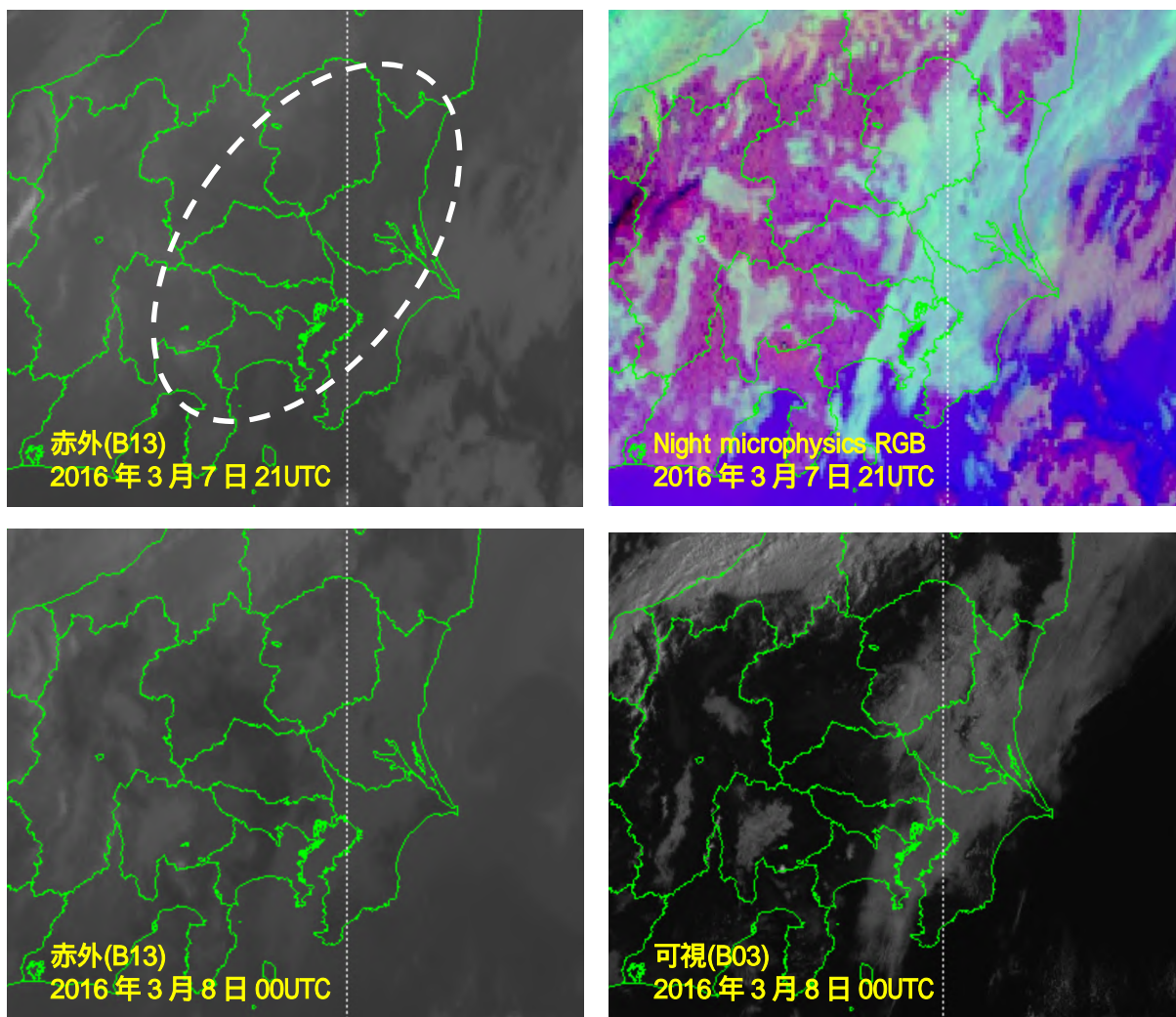
### 6.3.5 霧域抽出の着目点

ここでは、ひまわり 8 号の各種 RGB 合成画像等を用いた霧域抽出の着目点について述べる。

B13(10.4 $\mu\text{m}$ )の画像(赤外画像(IR))における霧域と地表面や海面との温度差

霧は大気下層の空気と地面や海面とが接する境界付近で発生する気象現象である。このため一般に衛星から観測される霧の温度は、霧域周辺の地面や海面の温度に近く、赤外画像(IR)では霧域とその周辺の地面や海面が区別できない。ただし日中の陸域において霧のない地面は、日射の影響で霧域に比べて早く暖まるため、霧域と周辺の地面との間に温度差が生じ、赤外画像(IR)でも霧域と周辺の地面の区別がつく場合もある。なお夜間の赤外画像(IR)において、霧域のような領域と地面や海面との間に温度差が見られる場合は、霧ではなく下層雲と判断できることが多い。

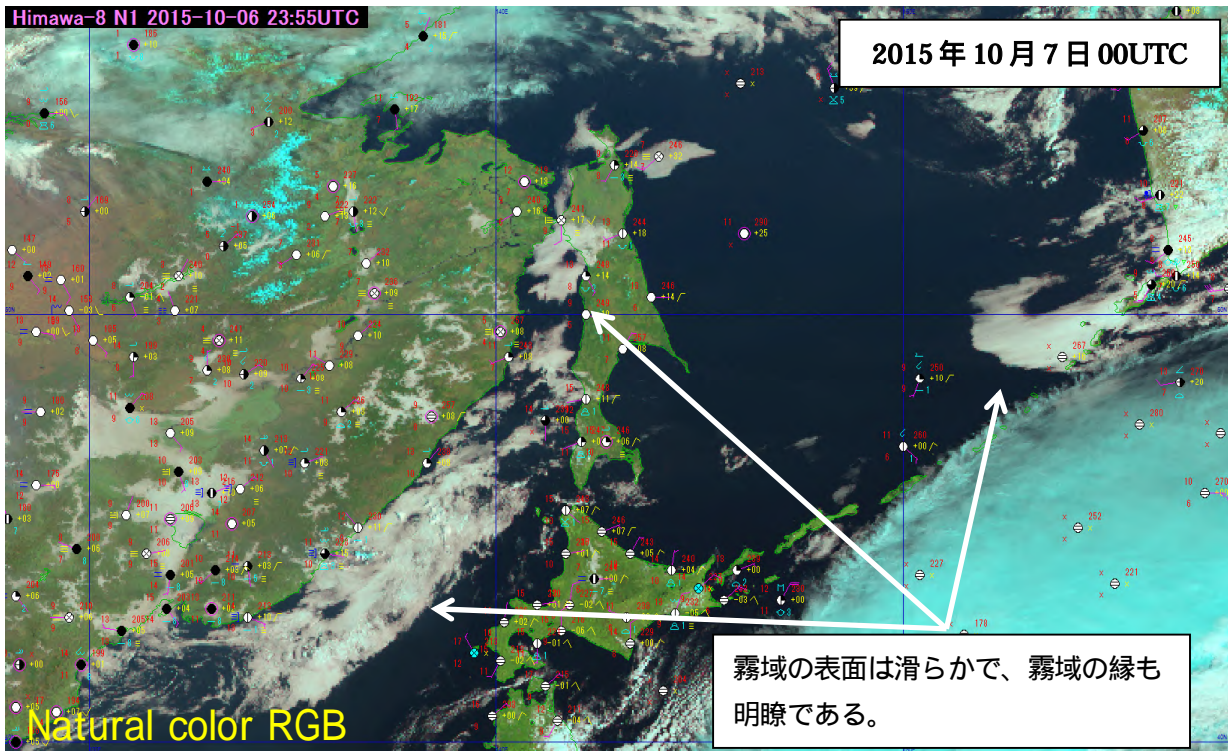
第 6.3.11 図に 2016 年 3 月 8 日の明け方、関東地方で霧が発生した時の赤外画像(IR)、Night microphysics RGB 合成画像、B03(0.64 $\mu\text{m}$ )の画像(可視画像(VIS))を示す。Night microphysics RGB 合成画像や可視画像(VIS)では明瞭に霧域が捉えられているが、赤外画像(IR)では霧域と地面の区別がつかない(白色破線で囲んだ領域)。なお 21UTC の赤外画像(IR)で霧域の東海上にある領域は、海面との区別ができることから下層雲と考えられる。また 00UTC の赤外画像(IR)では太陽日射の影響により温度差が生じ、霧域と地面の区別がつく。



第 6.3.11 図 関東地方に発生した霧(2016 年 3 月 7 日 21UTC(上図)、8 日 00UTC(下図))

### 霧域の表面の滑らかさや霧域の縁の明瞭度

霧発生時には、大気下層に逆転層が形成されている場合が多い。このため衛星から見た霧の表面は逆転層で抑えられ、高さが一定で滑らかとなる(第 6.3.12 図)。一方、下層雲の場合は、霧に比べて雲頂がでこぼこして滑らかではない。また霧はその縁が明瞭であることが多く、特に放射霧の場合は顕著である。



第 6.3.12 図 日本海とシベリアに発生した霧(2015年10月7日00UTC)

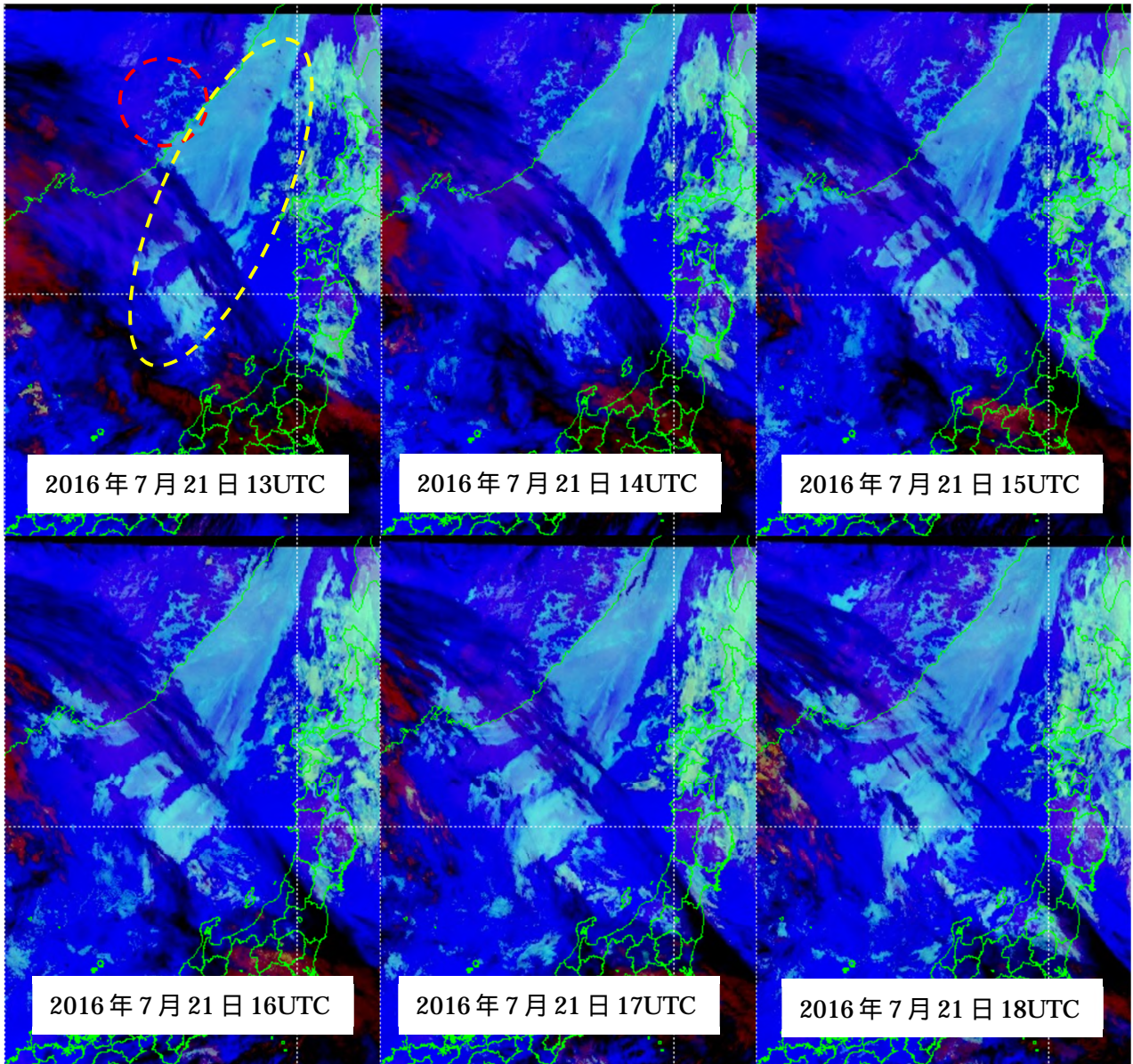
### 霧特有の形状や時間変化

放射霧は夜間の放射冷却により発生するため霧域自体の移動はあまり見られない。しかし霧域の範囲は時間の経過と共に拡大していく様子が衛星画像でも確認できる。また夜が明けて太陽光が当たると太陽光による昇温で霧域は消散し次第に小さくなる。

一方、移流霧の場合は、大気下層の暖湿流や寒気の流入に伴い大気下層の空気と地面や海面との温度差によって霧が発生し、霧域自体も移動する特徴がある。なお実際の霧事例では、移流霧と放射霧が複合して明確に区別できないケースも多々ある。

第 6.3.13 図には、2016年7月21日の13~18UTCにかけて日本海とシベリアに発生した霧(下層雲も含まれる)の状況を Night microphysics RGB 合成画像で示した。赤い破線で囲ったシベリアの放射霧は時間の経過と共に、同じ位置でその領域が拡大しているのがわかる。一方、黄色の破線で囲った日本海の移流霧(下層雲も含まれる)は、下層大気の変質により霧域や下層雲が変化しながら日本海をゆっくり北上している。





第6.3.13図 日本海とシベリアに発生した霧(Night microphysics RGB 合成画像 : 2016年7月21日の13~18UTC)

## 【まとめ】

ひまわり 8 号の各種衛星画像を利用した霧域の抽出に関して、これまでに説明した画像や霧域抽出の着目点を以下にまとめた。

## 【日中】

Day Snow-Fog RGB 合成画像や Natural color RGB 合成画像が有効である。

赤外画像(IR)でも日射による地表面温度の昇温により陸地の晴天域と霧・雲域が区別できる場合がある。霧域の表面は高さが一定で表面が滑らかである。また霧域の縁は明瞭である。

放射霧は日射による昇温で消散し、移流霧は下層大気の暖気又は寒気移流により霧域が移動する。

## 【夜間】

Night microphysics RGB 合成画像や差分 2 画像(S2)が有効である。

赤外画像(IR)では、霧域と晴天の陸地や海面との区別がつかない。

霧域の表面は、高さが一定で滑らかであり、縁が明瞭である。

放射霧は霧域の移動がほとんど無く、時間の経過と共に同じ位置で拡大する。

移流霧は下層大気の暖気又は寒気移流により霧域が移動する。

## 【日中と夜間の境界の時間帯】

24-hour microphysics RGB 合成画像が有効である。

赤外画像(IR)では、霧域と晴天の陸地や海面の区別がつかない。

霧域の表面は、高さが一定で滑らかであり、縁が明瞭である。

放射霧の霧域の移動がほとんど無く、夜間は時間の経過と共に同じ位置で拡大するが日中は消散する。

移流霧の霧域は下層大気の暖気又は寒気移流により移動する。

## 6.3.6 ひまわり 8 号 RGB 画像を用いた霧域監視の留意事項

日中の霧監視については、近赤外画像を用いた Day Snow-Fog RGB 合成画像や Natural color RGB 合成画像の利用が有効であり、いずれの画像でも霧域が明瞭に捉えられる。一方、夜間の霧監視については Night microphysics RGB 合成画像が有効であるが、この RGB 合成画像の利用には下記のとおりいくつかの留意事項がある。

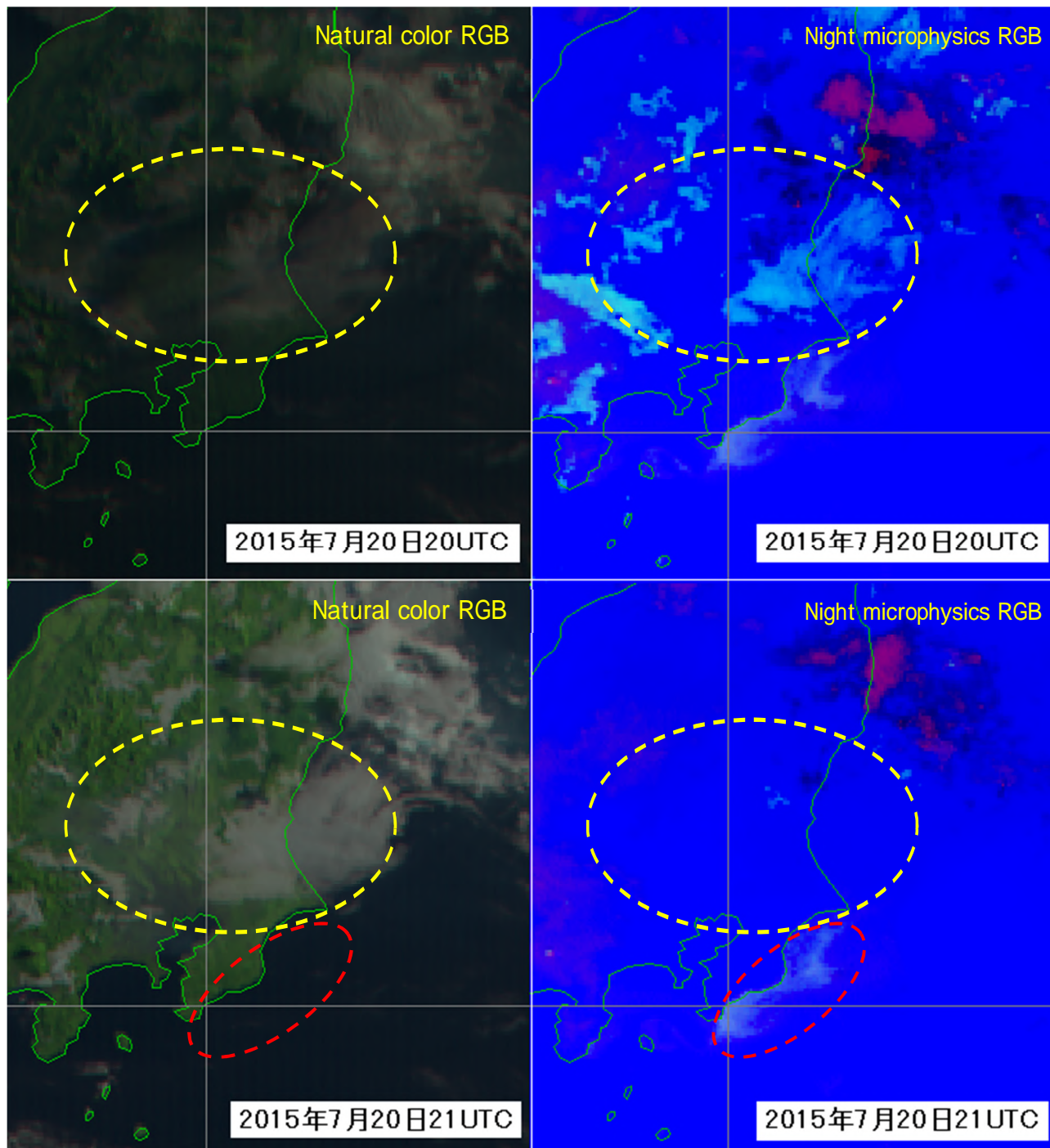
Night microphysics RGB 合成画像は、差分 2 画像(S2)を利用している。このため、朝になり太陽光が当たり始めると霧や下層雲に反射した太陽光の影響がこの差分画像に現れ、それまで見えていた霧・下層雲域が判別しにくくなるので注意が必要である。

第 6.3.14 図は、2015 年 7 月 21 日早朝(20~21UTC)の Natural color RGB 合成画像と同時刻の Night microphysics RGB 合成画像とを並べて示したものである。朝になり太陽光が当たり始めると、日中の霧監視に用いる Natural color RGB 合成画像では霧や下層雲が見えてくる。一方、夜間の霧監視に用いる Night microphysics RGB 合成画像では、20UTC まで良く見えていた霧や下層雲が 21UTC になると急に表示されなくなった(黄色破線)。このような事例には注意を要する。

また 21UTC の Night microphysics RGB 合成画像に赤色破線で囲った淡白色の領域は、まれではあるが、海面水温や海上の下層大気の水湿等の影響で霧と間違えやすい領域が現れた事例である。Night microphysics RGB 合成画像に表示された霧域のような領域(赤色破線)は、同時刻の Natural color RGB 合

成画像では霧や下層雲の存在は確認できない。

このような事例において誤判断を避けるための対応策としては、霧や雲域の判別を 1 つの画像だけで判断するのではなく、別の RGB 合成画像や赤外差分画像等を併用して総合的に判断することが必要である。



第 6.3.14 図 2015 年 7 月 21 日早朝(20 日 20~21UTC)の Natural color RGB 合成画像(左図)と Night microphysics RGB 合成画像(右図)

### 6.3.7 おわりに

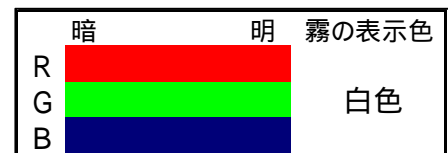
昨年度(平成 27 年度)の研修テキスト第 6 章「ひまわり 8 号 RGB 合成画像の基礎」の続編として、今回は霧の監視に重点を置き、ひまわり 8 号 RGB 合成画像の利用方法を紹介した。ここでの内容は、ひまわり 8 号以前の時代から培われてきた霧解析の基本的な技術も多く含んでいる。また、ひまわり 8 号で利用可能となった新しい RGB 合成画像の利用も追加し、両者を融合させた解説を行った。衛星画像解析の基本は、衛星が新しくなっても大きく変わるものではないが、ひまわり 8 号では時間分解能や空間分解能の向上や画像センサーの多バンド化により、これまででない詳細で鮮明な衛星画像が利用できるようになった。さらに RGB 合成画像の技術を利用すれば、各種の雲域や現象が色調の違いとして見られるようになった。従来の画像解析の基本をしっかりと押さえた上で、これらの新しい技術を利用すれば、今までにはない気象解析が可能となるであろう。ひまわり 8 号の詳細な観測画像や RGB 合成画像の技術を積極的に活用していただければ幸いである。

#### 【参考資料】霧監視に用いる RGB 合成画像の原理

##### 【日中の霧監視に用いる RGB 合成画像】

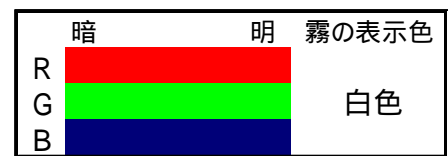
- True Color RGB 合成画像

B03(0.64 μm)・B02(0.51 μm)・B01(0.47 μm)の画像をそれぞれ赤・緑・青に割り当て合成した画像である。霧・下層雲は 3 つのバンド全てで同じ明るさに表示され白色となる。



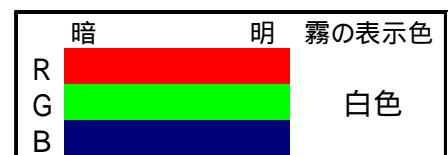
- Natural color RGB 合成画像

B05(1.6 μm)・B04(0.86 μm)・B03(0.64 μm)の画像をそれぞれ赤・緑・青に割り当て合成した画像である。B05 では雲の相(水/氷)により反射強度が変化する。氷晶雲や雪氷域は弱い反射を示し暗くなるため、氷晶雲や雪氷域は青・緑色の寄与が強いシアン色として表示される。水の粒からできている霧・下層雲は強い反射を示し明るくなり、3 つのバンド全てで同じ明るさに表示され白色となる。



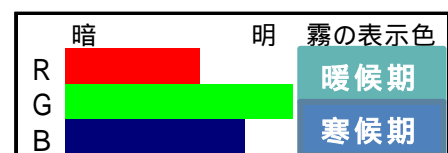
- Day Snow-Fog RGB 合成画像

B04(0.86 μm)、B05(1.6 μm)と B07(3.9 μm の太陽光反射成分)の画像をそれぞれ赤・緑・青に割り当て合成した画像である。雲の相(水/氷)の違いが強く影響する。氷雲や雪氷域では、B05 や B07 が弱くなるため緑・青色が減少し、赤色が強くなる。霧・下層雲は、3 つのバンド全てで同じ明るさに表示され白色となる。



- Day microphysics RGB 合成画像

B04(0.86 μm)・B07(3.9 μm の太陽光反射成分)・B13(10.4 μm)の画像を赤・緑・青に割り当て合成した画像である。霧・下層雲は 3 色すべてが明るくなるが、雲の相を判別しやすくするように B07 の寄与を大きくしているため相対的

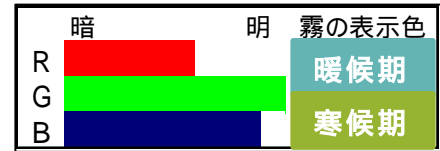


に緑色が強くなる。また、B13 は輝度温度の高い地表面付近が明るく、雲域が暗くなるように階調を設定している(季節や緯度による気温変化の影響を受ける)。これらの設定により霧・下層雲はシアン系の色になる。

【夜間の霧監視に用いる RGB 合成画像】

・ Night microphysics RGB 合成画像

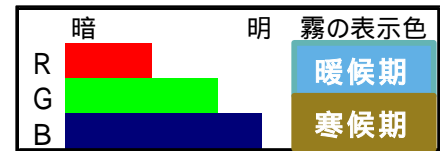
B13(10.4 μm)と B15(12.4 μm)の差分(差分 1 画像(S1))・  
B07(3.9 μm)と B13 の差分(差分 2 画像(S2))・B13 の画像  
をそれぞれ赤・緑・青に割り当て合成した画像である。差分  
1 画像(S1)と差分 2 画像(S2)では夜間の霧・下層雲が明  
るく表示される。B13 は輝度温度の高い地表面付近が明るく、雲域が暗くなるように階調を設定して  
いる(季節や緯度による気温変化の影響を受ける)。これらの設定により霧・下層雲はシアン系の色に  
なる。



【24 時間利用できる RGB 合成画像】

・ 24-hour microphysics RGB 合成画像

B13(10.4 μm)と B15(12.4 μm)の差分(差分 1 画像(S1))・  
B13 と B11(8.6 μm)の差分画像・B13 の画像を赤・緑・青  
に割り当て合成した画像である。Night microphysics RGB  
の差分 2 画像(S2)を、B13 と B11 の差分画像のガンマ値を  
変更して差し替え合成したものと同じである。B13 と B11 の差分画像では水の粒でできた雲が明るく  
表示される。B13 は輝度温度の高い地表面付近が明るく、雲域が暗くなるように階調を設定している  
(季節や緯度による気温変化の影響を受ける)。これらの設定により霧の色は右図に近い色となる。



## 6.4 視程（霧）に関する海上予警報作業

### 6.4.1 はじめに

6.1 節で述べたように海上では霧に関する直接の観測データがほとんど得られない。気象庁本庁が行う全般海上警報における濃霧警報の作業では、全般海上予報区（赤道～北緯 60 度、東経 100～180 度）において過去数日間に警報を発表している海域、領域があれば、その海域、領域を中心に、総観場の動向、衛星画像による霧判定域の分布、地上・船舶観測による天気、気温、露点温度、海面水温等のデータなどを基に、霧が発生している領域を把握する。その後、数値予報資料等を参考にして 24 時間先までの霧の推移を予想し、濃霧警報の対象となる海域、領域を決定する。地方海上予報中枢官署が行う地方海上警報における濃霧警報の作業では、全般海上警報との整合をとりながら同様にして担当する地方海上予報区における 24 時間先までの霧の推移を予想し、対象となる海域を判断する。その際、府県官署が発表する濃霧注意報との整合もとる必要がある。また、気象庁では 2015 年 3 月から地方海上分布予報として風、波、視程（霧）、着氷の分布予想図を発表している。同予報が対象とする海域は地方海上予報区で、各地方海上予報中枢官署が担当している。分布予想図の格子間隔は緯経度 0.5 度毎（2016 年 5 月以降）で、24 時間先までの 6 時間毎の分布を発表している。以下、6.4.2 項では視程（霧）の地方海上分布予報、6.4.3 項では 2016 年 3 月 8 日の関東海域の濃霧事例を用いた海上予警報作業について解説する。

### 6.4.2 視程（霧）の地方海上分布予報

視程（霧）の地方海上分布予報は、霧による視程障害を考慮して、「0.3 海里（約 0.5 km）以下」、「0.5 海里（約 1 km）以下」、「0.5 海里より上」の 3 つの階級で表現される。視程（霧）の地方海上分布予報は、全球モデルの計算結果に基づく視程分布予想（井藤 2013；以下、「GSM 視程分布予想」）を修正し、観測時刻から約 3 時間後に発表する。以下、視程（霧）の地方海上分布予報の作業例として、観測時刻 2016 年 10 月 15 日 21 時から 6 時間後（16 日 3 時）の予想を紹介する。

まず総観場を見る。15 日 21 時の地上天気図（第 6.4.1 図）によると、日本付近は東海上に中心を持つ優勢な移動性高気圧に覆われている。15 日 21 時の差分 2 画像（S2）及び赤外画像（IR）はそれぞれ第 6.4.2 図のとおりである。なお、夜間の霧（下層雲）の監視では、可視画像（VIS）が利用できないため、可視画像（VIS）の代わりに差分 2 画像（S2）を利用するのが一般的であり、差分 2 画像（S2）では白色の領域として確認できるが、赤外画像（IR）では確認できない雲域を霧判定域とする。

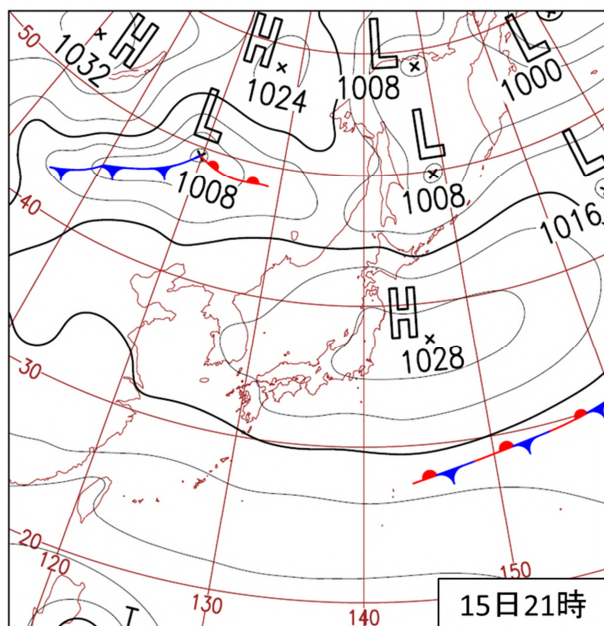
ここでは、領域 A（網走沖から北海道東方海上）と領域 B（沿海州南部沖から北海道西方海上）に着目する。上述の視程の観測と霧判定域から、実況は、領域 A では低視程域は認められず、領域 B では広い範囲で低視程域が分布していると判断する。地上天気図（第 6.4.1 図）、衛星画像（第 6.4.2 図）等によると、オホーツク海には低気圧が存在しているが、この低気圧は中上層の西北西流場を南下している擾乱で動きが早いため、領域 A ではほとんど下層暖湿流の影響を受けず、霧の発生の可能性は低い。一方、領域 B は優勢な高気圧の後面に位置し、下層は南西風の場合で暖湿流が流入し続けるため、霧の発生の可能性が高いと考えられる。

初期時刻 15 日 15 時から 12 時間後（16 日 3 時）の GSM 視程分布予想を第 6.4.3 図に示す。GSM 視程分布予想が示す低視程域は、領域 A と領域 B の両方に広がっている。一方、第 6.4.4 図に示した初期時刻 15 日 18 時から 9 時間後（16 日 3 時）のメソモデルの計算結果に基づく視程分布予想（井藤 2011；以下、「MSM 視程分布予想」）では、領域 A と領域 B の低視程域の予想が大幅に狭い。井藤（2013）によると、

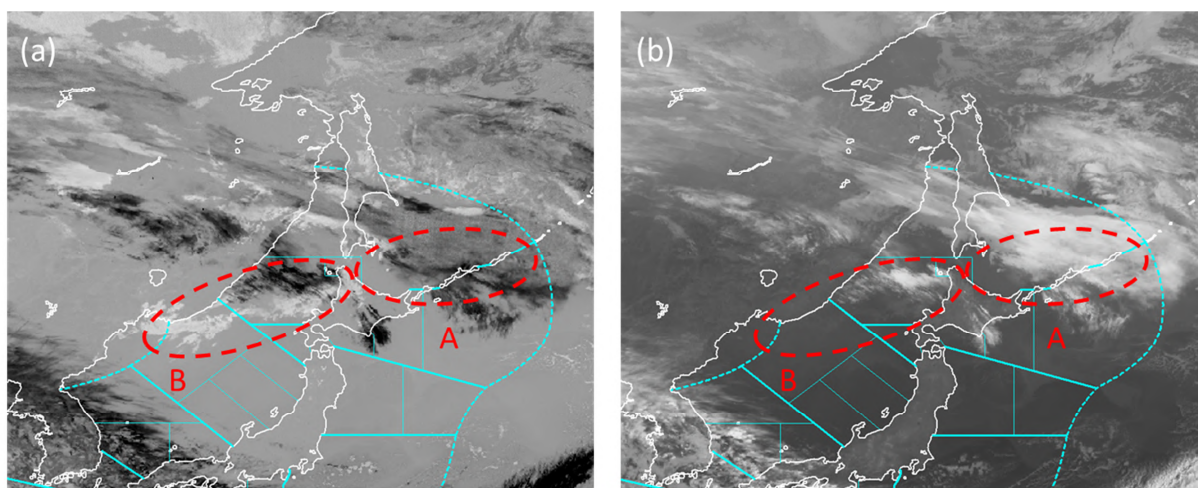
---

\*木下 仁、成田 正巳、吉松 雅行（気象庁予報部予報課）

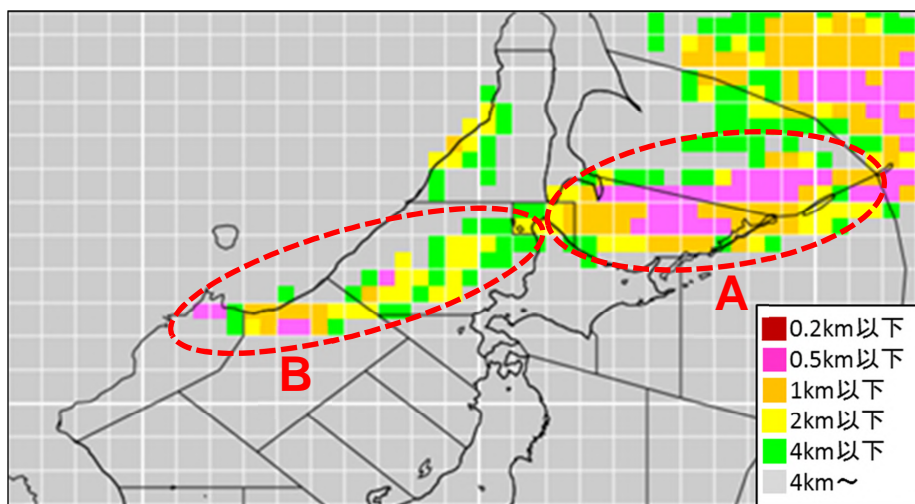
GSM 視程分布予想よりも MSM 視程分布予想の方が予想の精度が高いため、日本近海では主に MSM 視程分布予想を使うことが推奨されている。そこで、実況の霧の分布、MSM 視程分布予想に基づく低視程域の分布を踏まえ、GSM 視程分布予想の修正作業では領域 A の低視程域を除外し、領域 B については残す。予想の対象となった 16 日 3 時の地上及び船舶による視程の観測（第 6.4.5 図）によると視程 1 km 以下の観測は沿海州のみ、衛星画像（第 6.4.6 図）によると霧判定域は領域 B のみに広く分布しており、修正した結果はおおむね適切であることがわかる。



第 6.4.1 図 2016 年 10 月 15 日 21 時の地上天気図

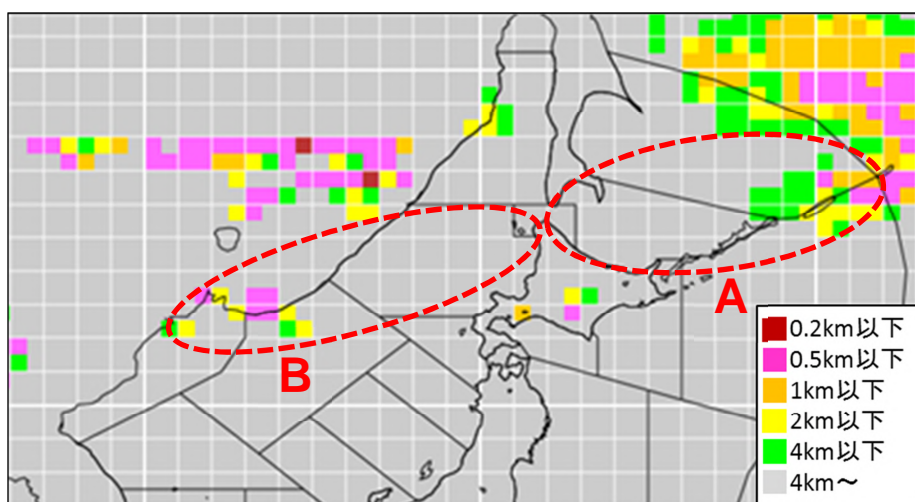


第 6.4.2 図 15 日 21 時の日本付近における (a) 差分 2 画像 (S2)、(b) 赤外画像 (IR)  
記号 A、B で示した赤破線内：本節で着目している領域。



第6.4.3 図 16日3時のGSM視程分布予想(15日15時初期値)

記号A、Bで示した赤破線内：本節で着目している領域。



第6.4.4 図 16日3時のMSM視程分布予想(15日18時初期値)

記号A、Bで示した赤破線内：本節で着目している領域。

### 6.4.3 2016年3月8日の関東海域における濃霧事例を用いた海上予警報作業

#### 6.4.3.1 はじめに

2016年3月8日、関東地方の広い範囲において霧が発生し、東京湾では昼過ぎまで霧が持続するなど2010年2月25日以来の稀な現象となった。この濃霧の影響により、東京湾に面する東京国際空港では8日日中に欠航が生じた。成田国際空港でも混乱し、同日朝行き先を関西国際空港等に変更した旅客機があった。ここでは、関東海域に焦点を絞り、交通障害等をもたらしたこの濃霧事例(以下、本事例)を題材に、ひまわり8号の衛星画像をはじめとした実況資料、利用する予想資料における着目点を中心に海上予警報作業について解説する。

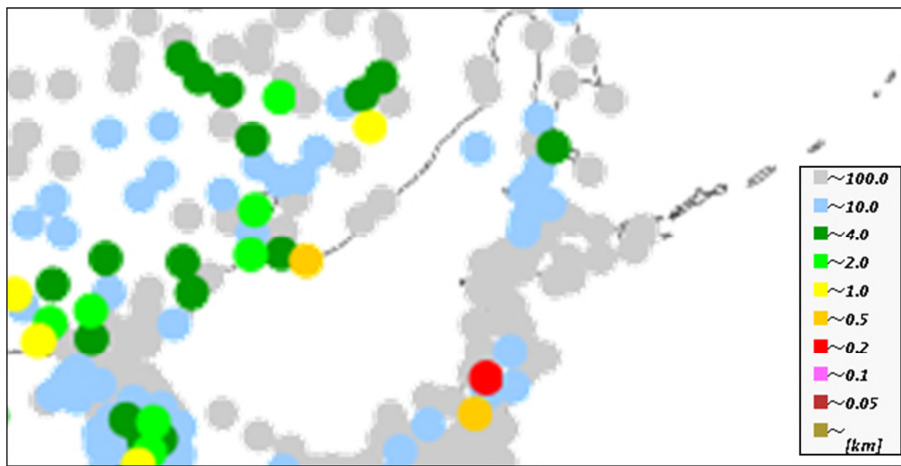
#### 6.4.3.2 本事例の概要

濃霧がもたらされた前日の3月7日は、低気圧が本州の南岸を発達しながら東進し(第6.4.7 図)、関東地方では朝から昼前を中心にまとまった雨となり(第6.4.8 図)、南部を中心に降水量の3月の極値が更



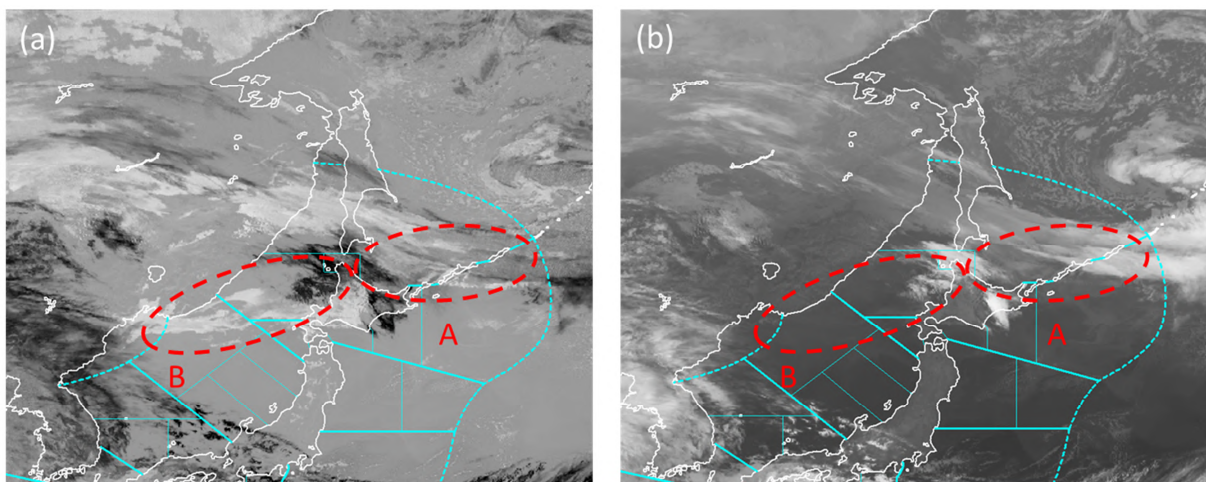
新された（第 6.4.1 表）。このため、7 日夜から 8 日にかけて関東地方では下層が湿っていた上に、広い範囲で気温が低下したため、湿度の高い状況が持続した。また、オホーツク海を東北東進している低気圧から前線が三陸沖付近にまでのびており、日本の東海上をゆっくり東南東している優勢な移動性高気圧の縁辺の暖湿気がこの前線に向かって流入しやすい状況であった（第 6.4.7 図）。関東地方の局地天気図（図略）では、7 日夜から 8 日にかけて気圧の傾きが非常に小さく、風が弱かった。

8 日 9 時、15 時の衛星画像（第 6.4.9 図）による霧判定域は、同日日中に関東地方の陸地では縮小したが、停滞前線の南側にあたる茨城沖では同日夜以降も持続していた。これらの実況から、本事例では内陸部中心の放射霧と、高気圧縁辺の暖湿気による海上中心の移流霧が混在していたと考えられる。



第 6.4.5 図 16 日 3 時の地上及び船舶による視程の観測

本節に關係する領域に近い視程 1 km 以下の観測は沿海州のみとなっている。



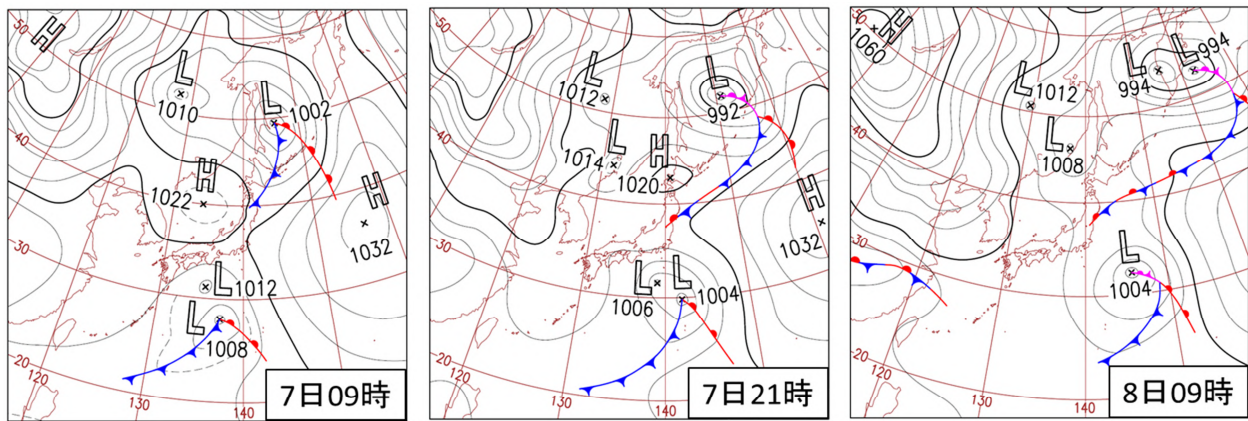
第 6.4.6 図 16 日 3 時の日本付近における (a) 差分 2 画像 (S2)、(b) 赤外画像 (IR)

記号 A、B で示した赤破線内：本節で着目している領域。

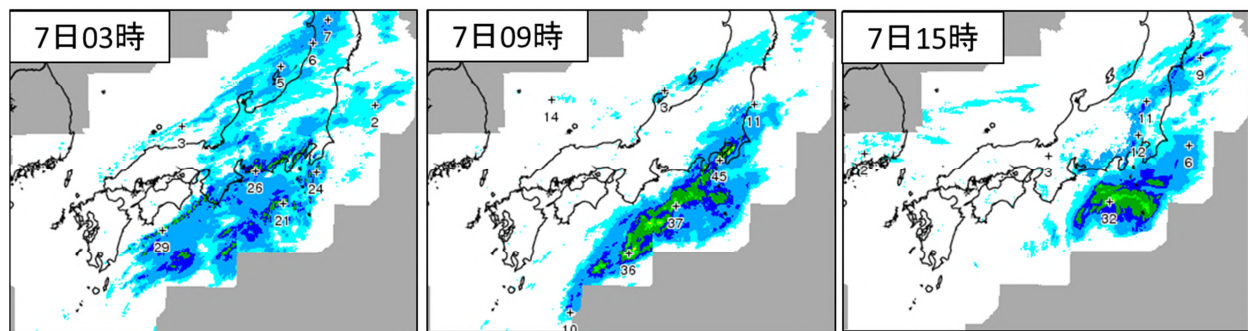
第 6.4.1 表 7 日に 3 月の極値が更新された観測地点の 1 時間降水量 (左)、3 時間降水量 (右)

都道府県	地点	1時間降水量 (mm)
東京都	羽田	29.5
千葉県	木更津	25.5
千葉県	牛久	25.5
千葉県	鋸南	25.5
千葉県	香取	19.5

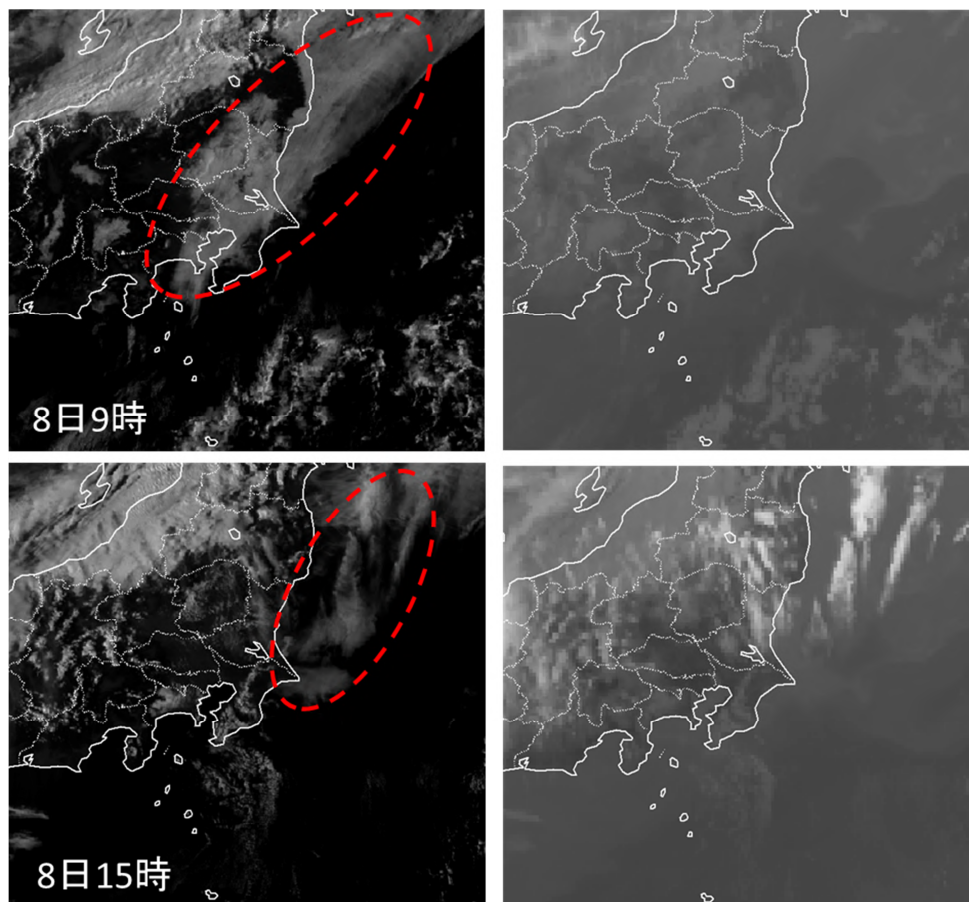
都道府県	地点	3時間降水量 (mm)
東京都	羽田	86.5
千葉県	木更津	81.5



第6.4.7図 2016年3月7日9時から8日9時の12時間毎の地上天気図



第6.4.8図 7日3時から15時の6時間毎の本州付近における前1時間解析雨量分布図



第6.4.9図 8日9時(上)、15時(下)の衛星画像(左:可視画像(VIS)、右:赤外画像(IR))  
赤破線内は霧判定域を示す。

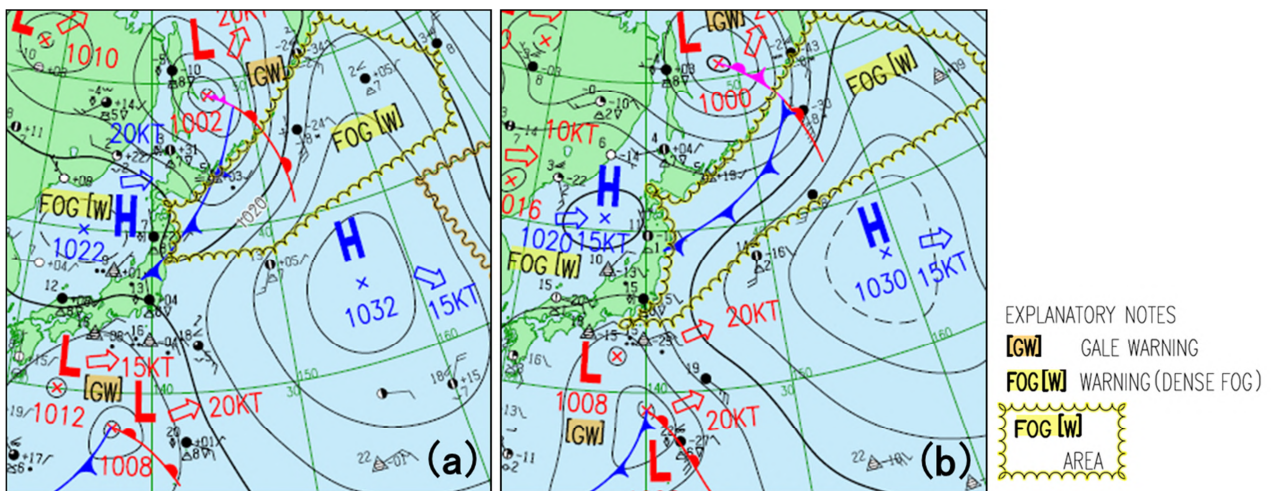
### 6.4.3.3 7日15時観測に基づいた作業

第6.4.10図(a)は、7日9時のアジア太平洋地上天気図(ASAS)である。本州の太平洋側で海上濃霧警報が発表されているのは移動性高気圧後面の下層暖湿流が入っている前線近傍の領域にあたる北緯38度以北である。以下、この時点で関東海域には同警報は発表されていないと想定して作業を進めることとする。

まず、15時の実況データを確認する。地上・船舶観測データによると、関東海域に霧の実況データはない。同時刻の可視画像(VIS(図略))では、オホーツク海の低気圧からのびる寒冷前線の暖気側の北海道東方海上から三陸沖にかけて霧判定域を確認できる。しかし、日本の南海上の低気圧近傍にあたる関東海域では上中層雲がかかり、霧の存在を確認できない。地上観測によると、関東地方の下層は湿っており、陸上では相対湿度が100%に近い地点がある。

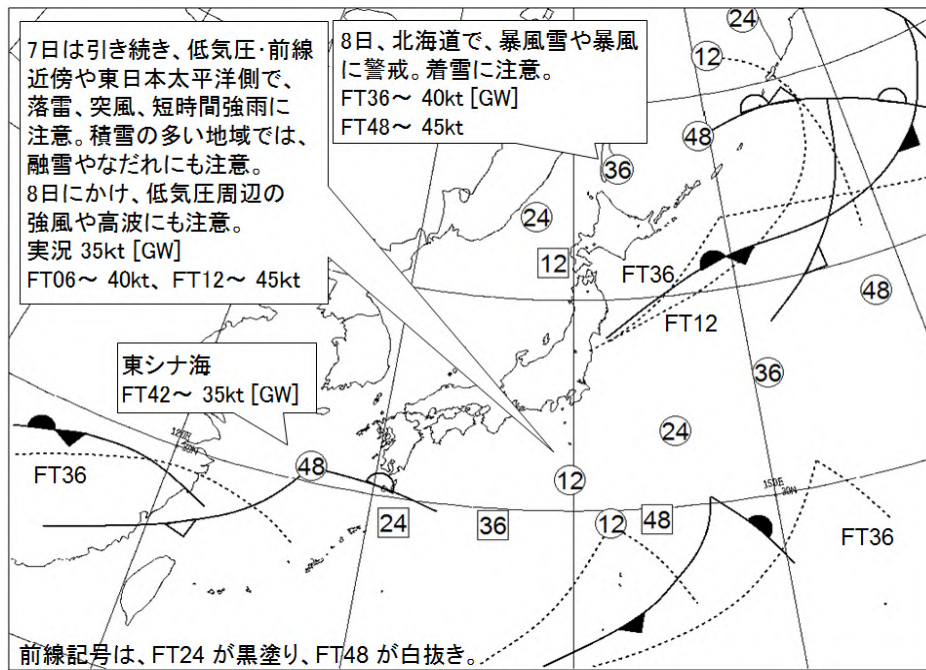
次に、今後の霧発生の見通しについて検討する。三陸沖の寒冷前線の動向に着目すると、中央指示報の主要じょう乱解説図(第6.4.11図)では、今後36時間、三陸沖にほとんど停滞する予想となっている。日本の東海上の高気圧、さらに南海上を通過した低気圧の影響も受け、停滞する前線に向かって暖湿気が流入し、関東海域では露点温度が上昇し、海面水温と露点温度の差が小さくなる見込みである(第6.4.12図)。7日9時初期値のMSM視程分布予想(第6.4.13図)では、7日21時には関東地方の陸上と茨城沖で800m以下の低視程が表現され、8日3時及び9時には千葉県、東京都、神奈川県にまで拡大する予想となっている。MSM各種予想資料(図略)では、関東地方の降水は7日夜には終わり、その後、西から高気圧に覆われることで700hPaから925hPaの風向は次第に北から西寄りに変わり、風は弱まる予想である。内陸部では、雨が止んだ後は次第に晴天となり、放射冷却により気温が下がることで放射霧の発生が見込まれる。また、平野部では東寄りの湿った風の影響を受けることが予想される。

以上より、実況で同海域に霧による低視程域が確認できなくても、7日夜には霧が発生する可能性が高いと判断する。現在、関東海域では海上濃霧警報を発表していないことから、この判断を本庁と地方海上予報中枢官署(関東海域担当)間で共有する。本庁は全般海上警報において海上濃霧警報の領域を関東北部海域にまで拡大し(第6.4.10図(b))、また、視程(霧)の分布予想の作業では、同警報に整合させるようにGSM視程分布予想に表現されている関東海域北部の低視程域を採用する。第6.4.14図に7日21時を対象としたGSM視程分布予想(同日9時初期値)の修正前と修正後の図を示した。ここで、関東海域北部では予想された視程域は概ね採用されているが、東海海域、四国沖などでは除外されている。これは東海海域、四国



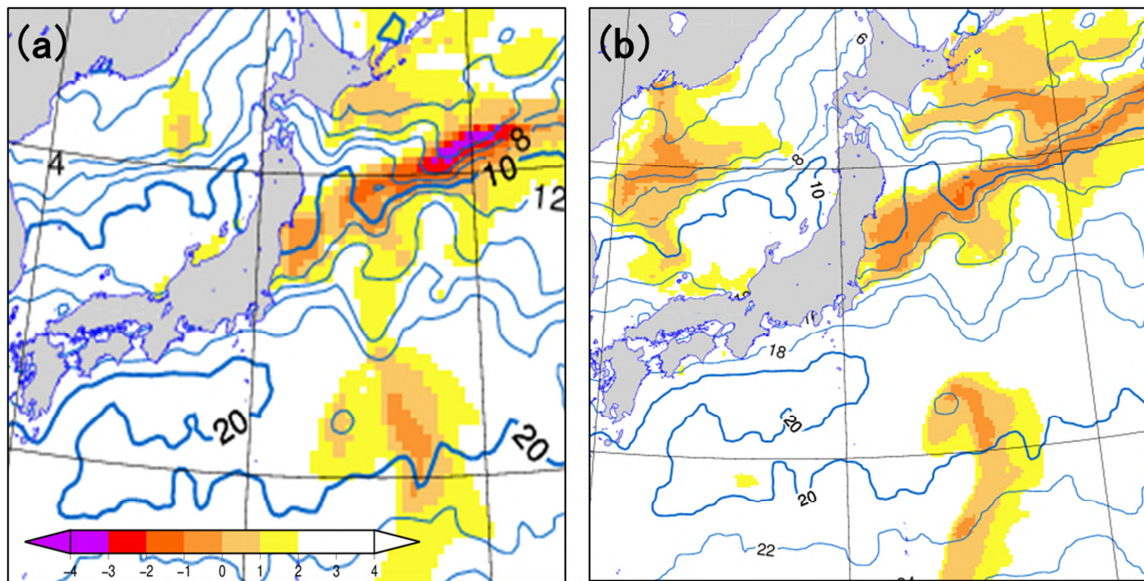
第6.4.10図 2016年3月7日(a)9時、(b)15時のアジア太平洋地上天気図(ASAS)

海上濃霧警報は、FOG[W]で示されている海域及び黄色の波線で囲まれた領域に発表している。



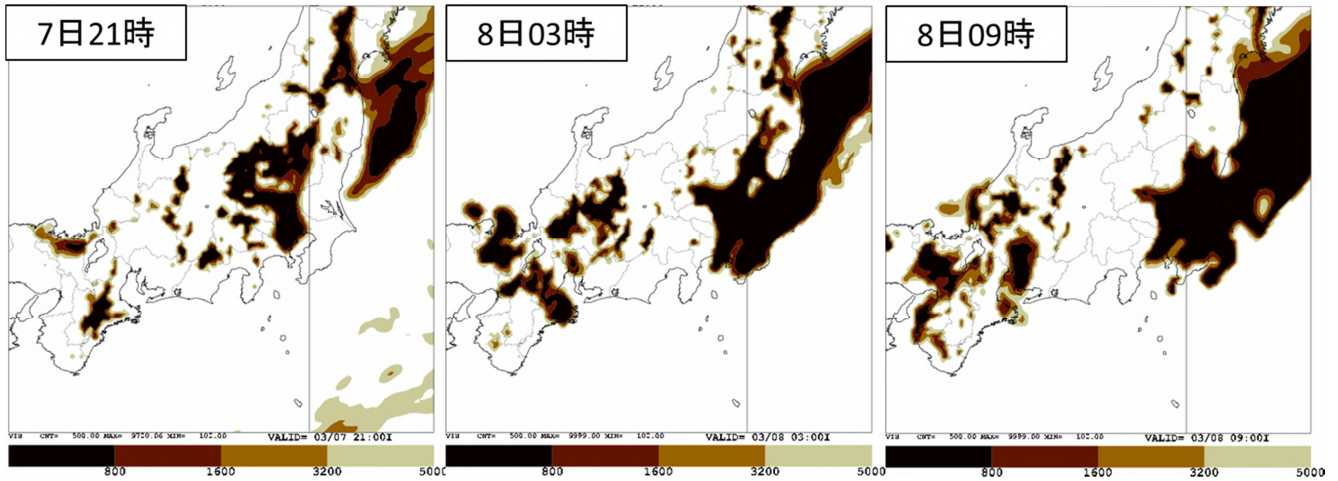
第 6.4.11 図 7 日 9 時を初期時刻とする主要じょう乱解説図

台風、低気圧 ( )、高気圧 ( ) の中の数字は初期時刻からの予想時間。

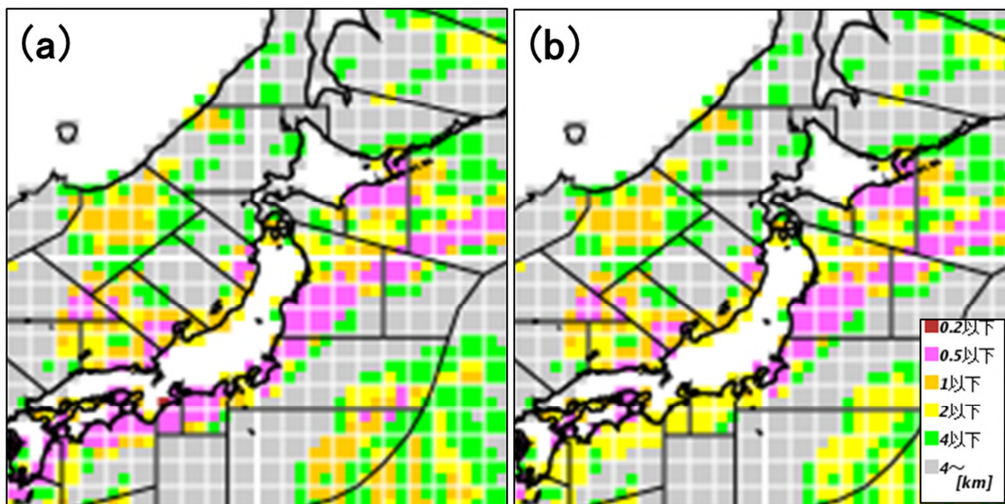


第 6.4.12 図 (a) GSM、(b) MSM による 7 日 21 時の海面水温 (青実線、2 毎)、海面水温と露点温度の差の分布図 ( ) いずれも 7 日 9 時初期値。

沖などの海面水温が黒潮の影響を受けて高く、露点温度との差が大きいと予想したためである (第 6.4.12 図)。地方海上予報中枢官署 (関東海域担当) は、今後霧が発生する見込みである旨の海上濃霧警報を発表する (第 6.4.15 図)。視程 (霧) の海上分布予想の作業では、本庁で検討した低視程域を確認し、必要があれば微修正を行う。なお、これらの作業においては、沿岸部の各府県における濃霧注意報の発表状況にも常に留意する。



第 6.4.13 図 7 日 21 時～8 日 9 時の 6 時間毎の MSM 視程分布予想 (7 日 9 時初期値)



第 6.4.14 図 7 日 21 時の GSM 視程分布予想 (7 日 9 時初期値) の (a) 修正前、(b) 修正後

全般海上警報

0 7 日 1 5 時観測 7 日 1 7 時 2 5 分発表

海上濃霧警報

北緯 34 東経 138 北緯 36 東経 141 北緯 40 東経 142 北緯 43 東経 140 北緯 42 東経 143 北緯 46 東経 150  
北緯 53 東経 160 北緯 47 東経 173 北緯 42 東経 174 北緯 39 東経 150 北緯 34 東経 142 北緯 34 東経 138  
の各点で囲まれた海域では所々で濃い霧のため見通しが悪い

東京海上気象

0 7 日 1 5 時観測 7 日 1 7 時 3 5 分発表

海上濃霧警報 関東海域北部

関東海域北部では所々で濃い霧のため見通しが次第に悪くなり  
今後 1 2 時間以内に視程は 0 . 3 海里 ( 0 . 5 キロ ) 以下になる見込み

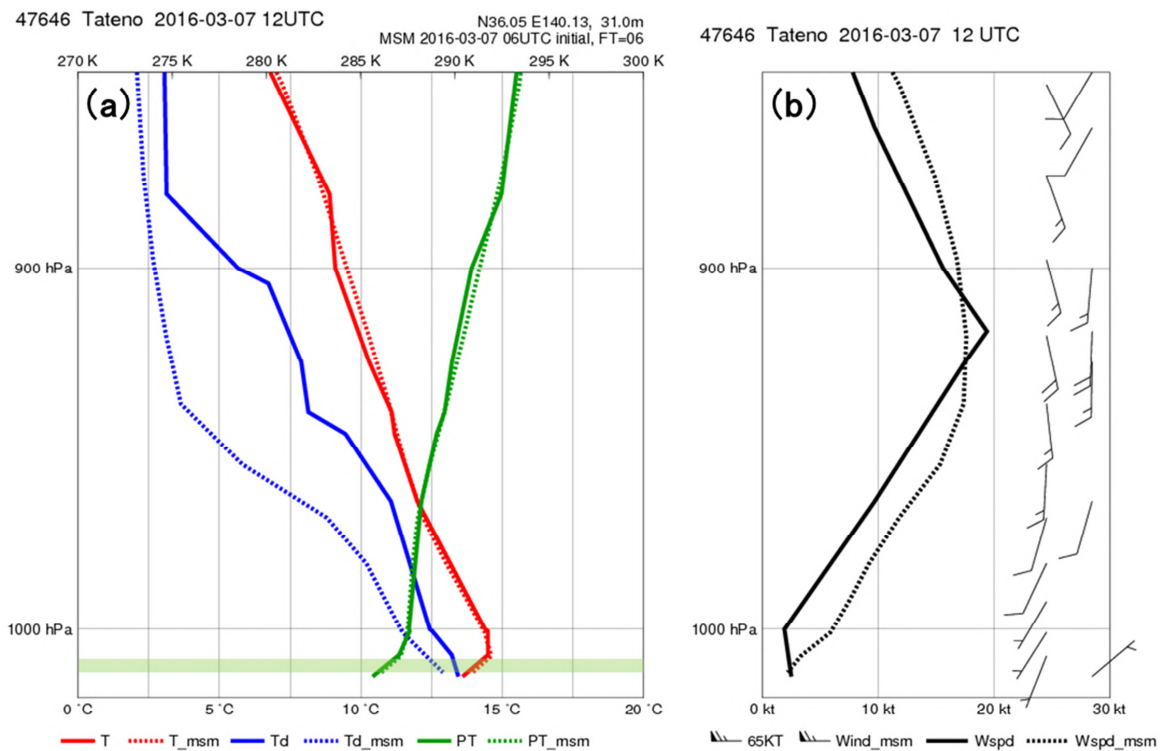
第 6.4.15 図 7 日 15 時観測の海上濃霧警報の電文例 (上：全般海上警報、下：地方海上警報)

#### 6.4.3.4 7日21時観測に基づいた作業

以下、地方海上分布予報の作業は省略し、海上警報（濃霧）の作業についてのみ解説する。7日21時の地上・船舶観測では、関東海域付近に霧の実況データはまだないが、気温の低下により平野部を中心に相対湿度が100%に近い観測地点が増えてきた。同地方では気温が下がる8日朝にかけて、この傾向はさらに顕著になると考えられる。21時の館野の高層観測によると、最下層に接地逆転層が見られる（第6.4.16図）。900 hPa 付近以下の気温は MSM の予想値（初期時刻：同日15時）に近いが、露点温度は実況の方が数高く、3 以上高い層もある。このため、下層では予想以上に湿っており、風についても 980 hPa 付近以下で実況の方が弱いことから、放射霧の発生にはより好都合な状況となっている。

7日21時の衛星画像（図略）では、低気圧近傍の上中層雲が引き続き関東海域付近にかかり、霧判定域の存在は確認できない。天気図解析によると、三陸沖付近の傾圧帯は明瞭で、前線が本州付近にまで伸長しており、総観場については、前回検討した見通し（第6.4.11図）を踏襲することとする。したがって、全般海上警報、地方海上警報共に関東海域北部の海上濃霧警報を継続する。また、まもなく発生が見込まれる霧の持続性については、同日15時初期値のMSM 視程分布予想（第6.4.17図）によると、8日15時でも房総半島沖にわずかながら低視程域が予想されており、8日夜までは前線の影響を受けることから、24時間先までは移流霧の残る可能性が高いと判断する。

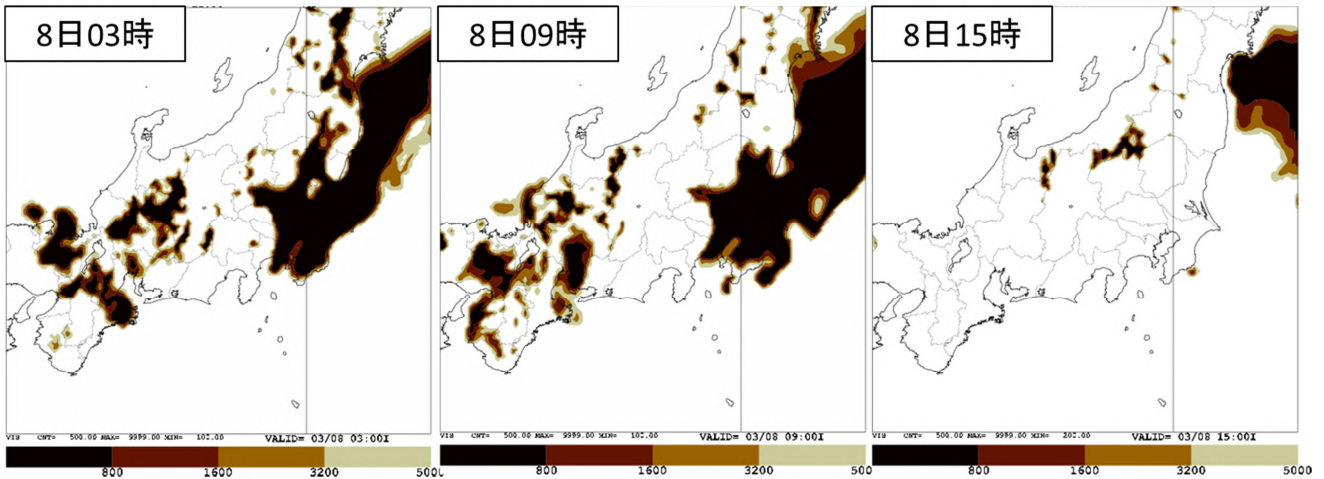
発表作業直前の23時前になると、差分2画像（S2）と赤外画像（IR）では茨城沖で上中層雲の隙間から下層雲域を確認できるようになる（第6.4.18図）。ここで、6.3節で説明したNight microphysics RGB 合成画像（以下、「夜間下層雲 RGB」）を用いると、差分2画像（S2）よりも下層雲域（青白色もしくは緑白色で表現）を容易に判別することができる。なお、夜間下層雲 RGB で判別される下層雲域も霧であるとは限



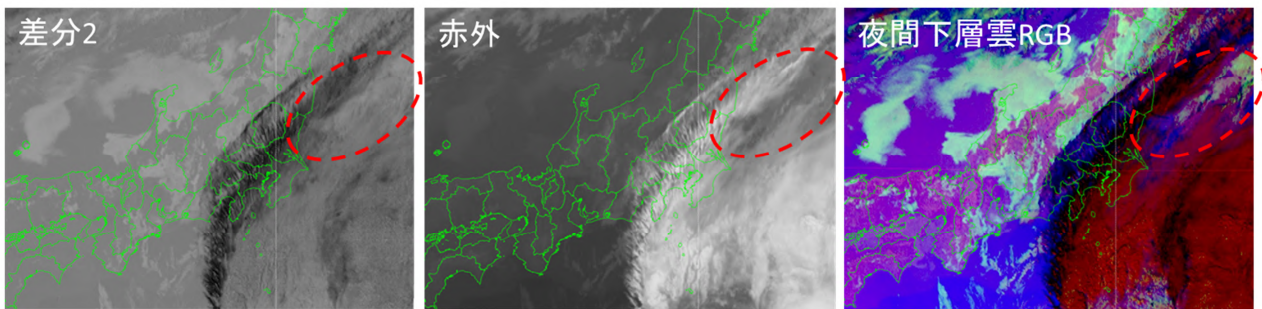
第6.4.16図 7日21時の館野における (a) 気温（赤線）、露点温度（青線）、温位（緑線）と (b) 風速（黒線）の鉛直プロファイル

太線は実況値、点線はMSMによる予想値（同日15時初期値）、黄緑網掛域は実況値による湿数2 以下の層を、風のプロットは右側が実況値、左側が同予想値を示す。

らない。可視画像 (VIS)、差分 2 画像 (S2) と同様に、夜間下層雲 RGB で判別した下層雲域が赤外画像 (IR) で確認できなければ、霧判定域と判別できる。ただし、この事例では上中層雲が周辺に広がるため、赤外画像 (IR) を用いた判別は難しい。このような場合、周辺場の状況やモデル予想などから霧が発生している可能性が高いと考えられる場合は下層雲域を霧判定域と判断する。したがって、地方海上予報中枢官署は全般海上警報を担当する本庁とこの状況を共有し、関東海域北部では実況で霧が発生している可能性が高い旨の海上濃霧警報を発表する (第 6.4.19 図)。



第 6.4.17 図 8 日 3 時～15 時の 6 時間毎の MSM 視程分布予想 (7 日 15 時初期値)



第 6.4.18 図 7 日 22 時 30 分の衛星画像 (差分 2 画像 (S2)、赤外画像 (IR)、夜間下層雲 RGB)

赤点線内は上中層雲の隙間から見える下層雲域を示す。

**全般海上警報**

0 7 日 2 1 時観測 7 日 2 3 時 2 5 分発表

**海上濃霧警報**

北緯 35 東経 140 北緯 39 東経 142 北緯 42 東経 140 北緯 42 東経 143 北緯 47 東経 152 北緯 54 東経 160  
北緯 45 東経 177 北緯 40 東経 175 北緯 43 東経 160 北緯 39 東経 150 北緯 34 東経 143 北緯 35 東経 140  
の各点で囲まれた海域では所々で濃い霧のため見通しが悪い

**東京海上気象**

0 7 日 2 1 時観測 7 日 2 3 時 3 5 分発表

**海上濃霧警報 関東海域北部**

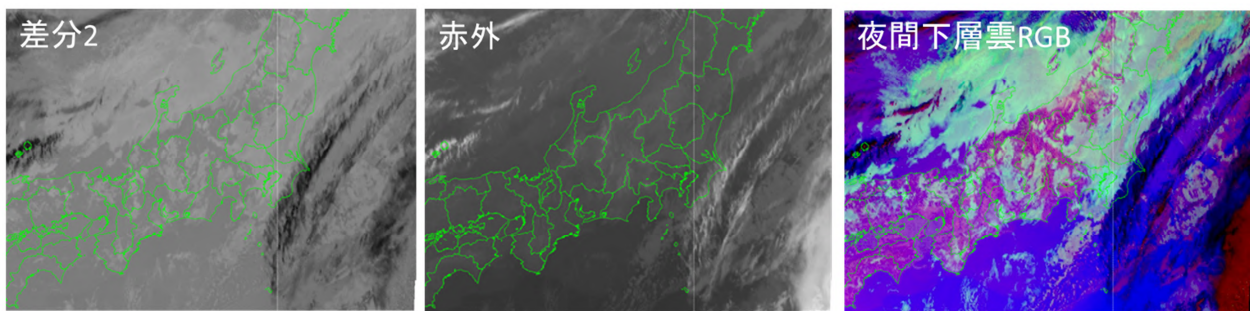
関東海域北部では所々で濃い霧のため見通しが悪く視程は 0.3 海里 (0.5 キロ) 以下

第 6.4.19 図 7 日 21 時観測の海上濃霧警報の電文例 (上: 全般海上警報、下: 地方海上警報)

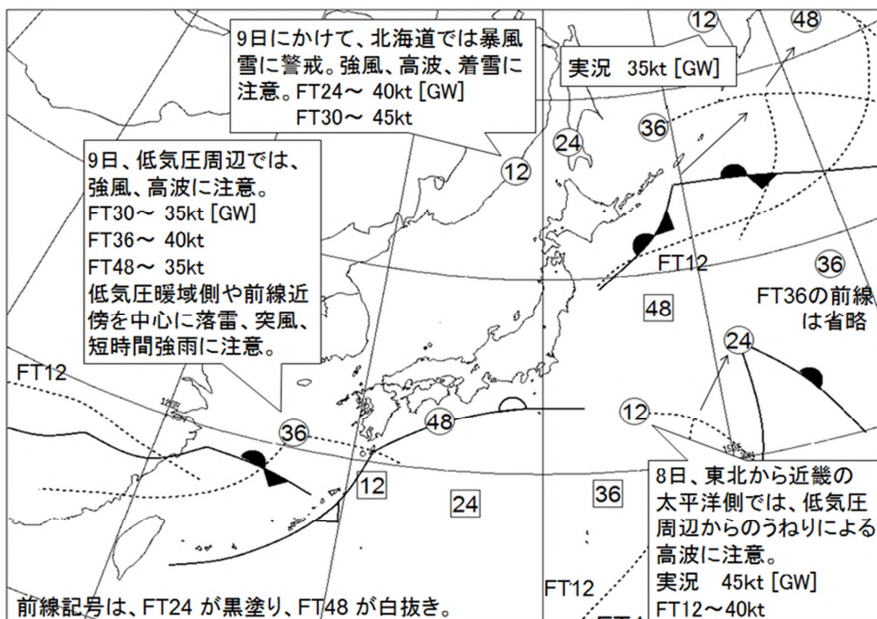
### 6.4.3.5 8日3時観測に基づいた作業

8日3時の実況によると、関東海域北部の地上・船舶観測では陸上を中心に霧を観測している地点が増えている。衛星画像（第6.4.20図）では、関東地方にかかっていた上中層雲は夜半過ぎには東海上に抜け、茨城沖から房総半島にかけての広い範囲で霧判定域を確認できる。このため、地方海上予報中枢官署は関東海域北部では実況の海上濃霧警報を継続する。

次に、現在発生している霧の持続性について検討する。中央指示報の主要じょう乱解説図（第6.4.21図）では、前線は8日21時にかけて三陸沖に残るが、その後は本州から次第に離れる予想となっており、霧が消散しやすい場となることを念頭におく。また、MSM 視程分布予想（第6.4.22図）から、少なくとも18時間先の8日21時までには海上濃霧警報の継続を見込む。



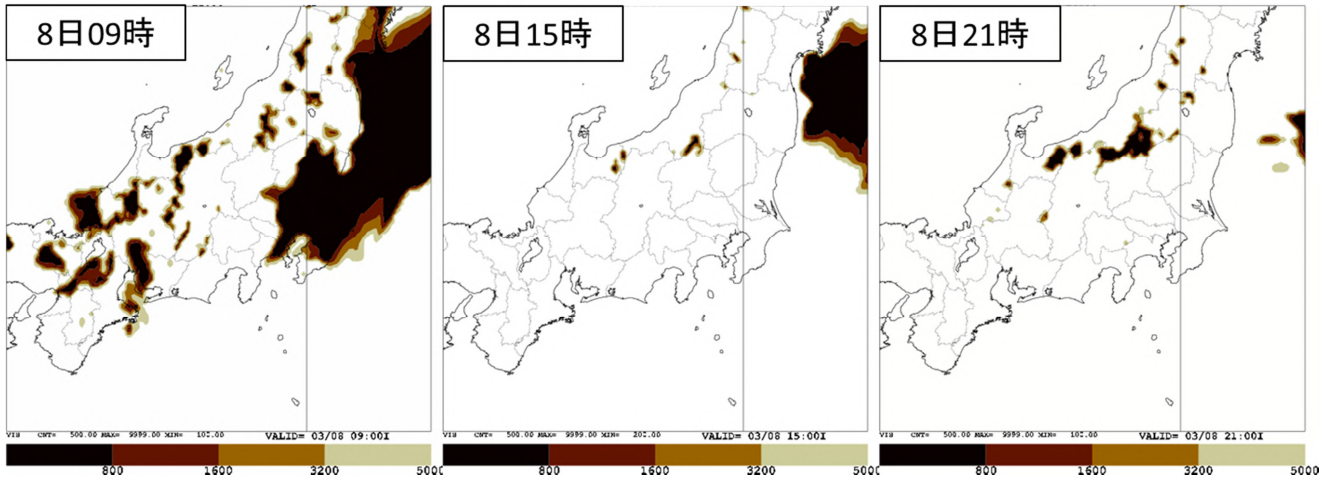
第6.4.20図 8日3時の衛星画像（差分2画像（S2）、赤外画像（IR）、夜間下層雲RGB）



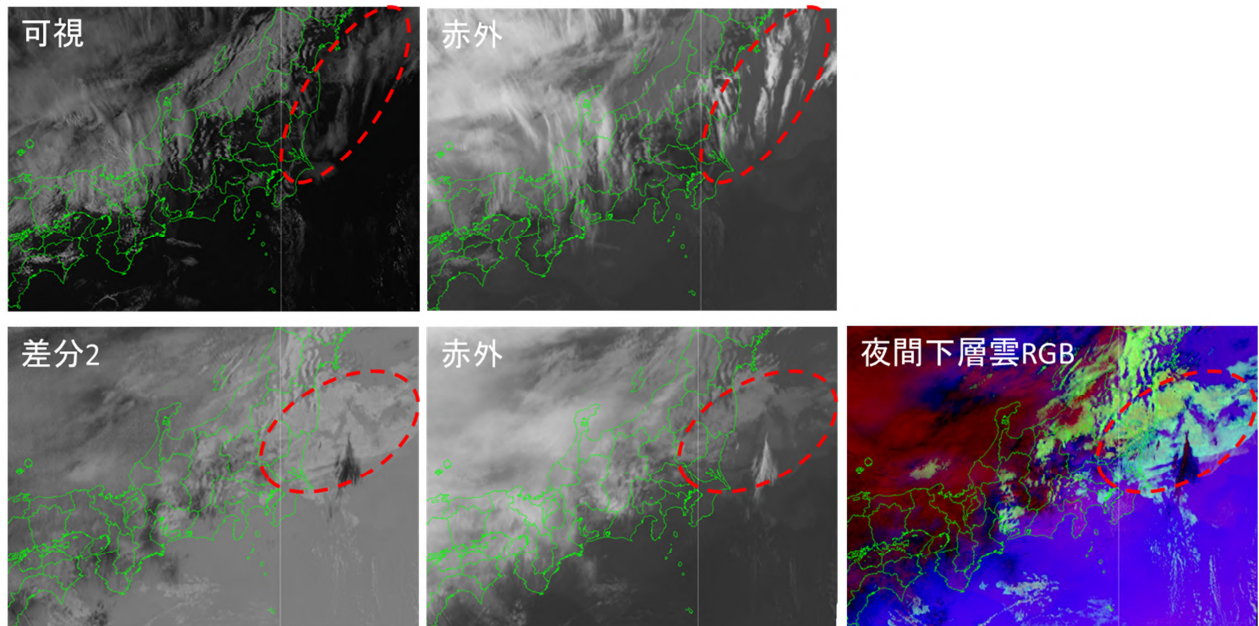
第6.4.21図 7日21時を初期時刻とする主要じょう乱解説図

台風、低気圧（○）、高気圧（□）の中の数字は初期時刻からの予想時間。





第6.4.22 図 8日9時～21時の6時間毎のMSM 視程分布予想(7日21時初期値)



第6.4.23 図 8日15時(上)、21時(下)の衛星画像(左上:15時の可視画像(VIS)、中上:15時の赤外画像(IR)、左下:21時の差分2画像(S2)、中下:21時の赤外画像(IR)、右下:21時の夜間下層雲RGB)  
赤破線内は霧を含む下層雲域を示す。

#### 6.4.3.6 8日9時観測以降の作業

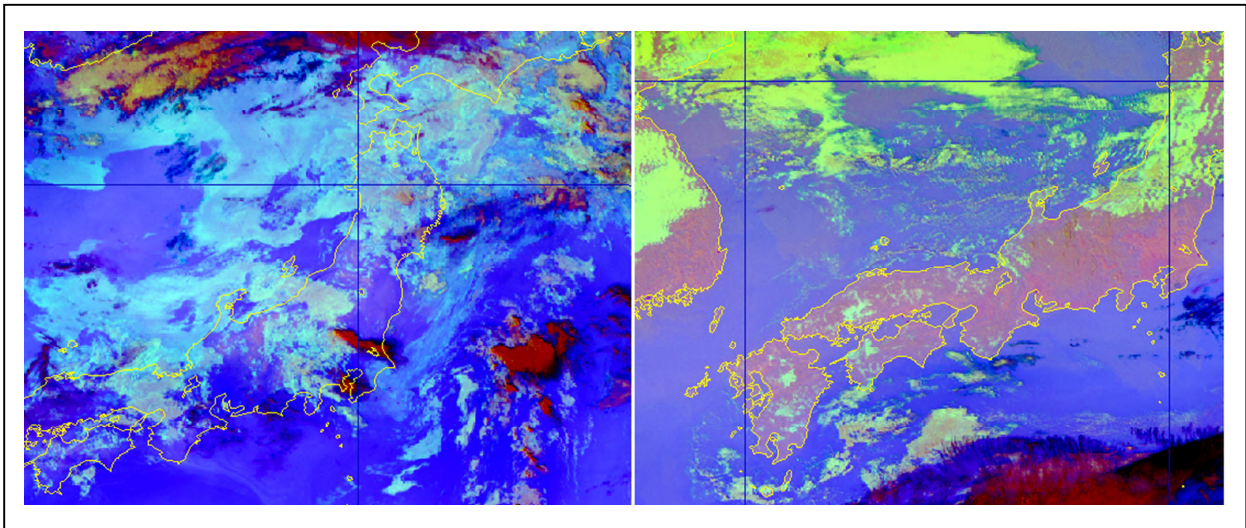
8日9時観測以降の作業では、最新の実況と予想資料を確認しながら海上濃霧警報の解除のタイミングを検討する。総観場のシナリオは前回から大きな変化はなく、8日夜以降は三陸沖の前線は次第に東へ遠ざかり、霧の発生ポテンシャルも低下する傾向が続く。8日3時初期値のMSM 視程分布予想(図略)でも、関東海域の低視程域は8日午後以降縮小し、9日3時以降は関東海域ではほとんど解消する予想だが、衛星画像では8日午後も銚子・茨城沖で霧判定域を確認できる(第6.4.23 図)。このため、9日以降も本州の南海上を東進する低気圧からのびる新たな前線の影響を考慮し、関東海域北部の海上濃霧警報を継続する。このように衛星画像をはじめとした実況の確認により最終的な濃霧警報の継続・解除を判断していく。

## 6.5 ひまわり8号のデータと数値予報データを利用した夜間霧監視プロダクトの開発\*

### 6.5.1 はじめに

夜間の霧監視については、霧を含む下層雲を鮮明に表示する Night microphysics RGB が有効である。しかし、RGB 表示に使われる輝度温度情報が季節や緯度の違いにより変化するため、霧・層雲を特定の色だけでは判断できないという問題点がある(第6.5.1図)。これに対応するため、衛星データと数値予報モデルの温度や湿度の鉛直プロファイルと比較し、霧を自動判別する夜間霧監視プロダクトを開発した。このプロダクトでは衛星で観測された霧・下層雲域から霧域を抽出し、通年同じ色で表示する。なお、定義上、層雲と霧の区別は地表にタッチダウンをしているかどうかで帰結する。したがって、雲域を上空から観測している衛星だけでは完全に下層雲と霧を区別することは難しい。また、衛星データを用いた霧判別には下層の湿度情報を取り込むことが有効であるという報告(Ishida et al. 2014)もあり、プロダクト作成の参考にした。

なお、ここで対象としている「霧」とは、厚い上・中層雲がなく、衛星で観測できる移流霧や放射霧である。厚い雲域の直下に広がる前線霧または混合霧は対象としない。また、後述するプロダクト作成のための統計処理や精度検証からも除外している。



第6.5.1図 Night Microphysics RGBによる夏(左)と冬(右)の霧の比較

左：2015年7月28日18UTC、日本海側の霧を含む下層雲がシアン色で表示されている。

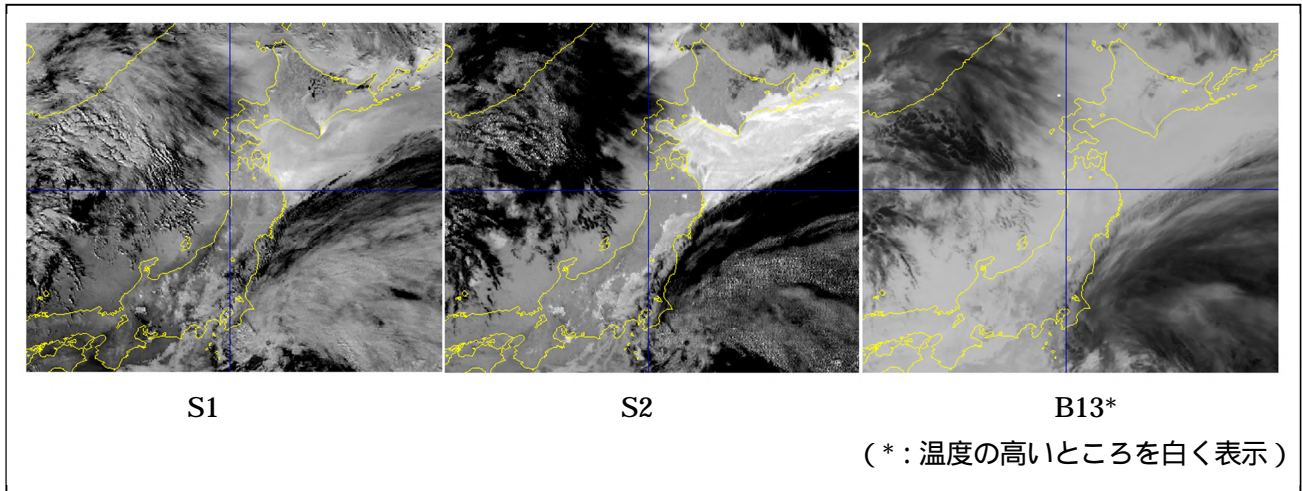
右：2016年1月3日18UTC、西日本内陸の霧を含む下層雲が黄色みがかかった色で表示されている。

### 6.5.2 各バンドと差分画像に見られる下層雲・霧の特徴

衛星から霧の候補データを取得するために、Night Microphysics RGB で使われる各画像を見る(第6.5.2図)。観測バンド B13(10.4  $\mu\text{m}$ )と B15(12.4  $\mu\text{m}$ )の差分1画像(S1)(以下、「S1」)、B07(3.9  $\mu\text{m}$ )と B13(10.4  $\mu\text{m}$ )の差分2画像(S2)(以下、「S2」)では、単体の B13 画像と比較して明らかに霧と下層雲の特徴が異なることが分かる。S2 で利用する B07 の雲の反射率は雲粒径とその相(水相/氷相)に大きく依存し、雲の厚さ、粒子のサイズにも敏感である。射出率は、輝度温度の高い下層雲等の水相の雲粒子から構成される十分に厚い雲の場合に、B13 よりも B07 の方が小さい。これにより B07 から B13 を差し引いた差分画像を作成すると、霧・層雲といった下層雲は輝度温度差が負の白い雲域として見え、画像で検出することがある程度可能とな

\*中鉢幸悦(気象衛星センターデータ処理部解析課) 丸山拓海(気象衛星センターデータ処理部システム管理課)

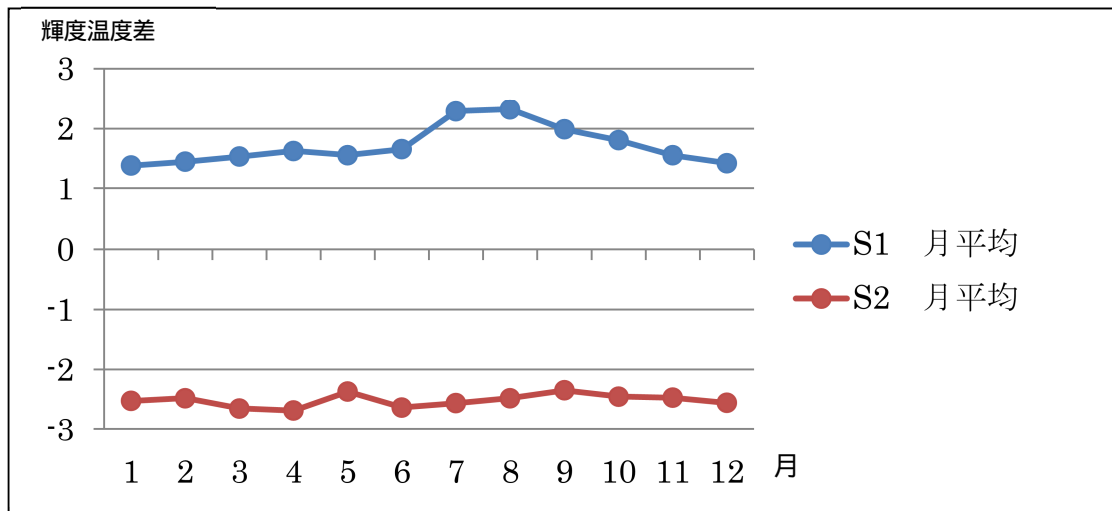
る。S2 は下層雲の見分けが付きやすく、さらに霧を含む下層雲の場合は霧を含まない下層雲より S2 の値が小さくなる。一方、S1 の画像を見ると、霧を含む下層雲域は白く表示されている。S1 の値は S2 と違って海面温度や雲の上の水蒸気の高寡などの影響を受けるため、特定の温度範囲を霧・層雲とすることはできないので、S2 で下層雲と判断した場合に限り利用している。下層雲に限れば、B15 と B13 では水蒸気の吸収度合いの違いから下層で透過率に 20% 程度の違いが発生し、下層の水蒸気が多いほど差分値は大きくなる傾向がある。



第 6.5.2 図 Night Microphysics RGB を構成する S1・S2・B13 による画像の特徴 (2015 年 5 月 29 日 12UTC)

三陸沿岸から北海道の南海上にかけて霧域が広がる (釧路、根室で霧を観測)。

### 6.5.3 S1、S2、B13 による霧候補の抽出



第 6.5.3 図 S2 (-1 以下) で抽出した下層雲の S1・S2 の月別変化

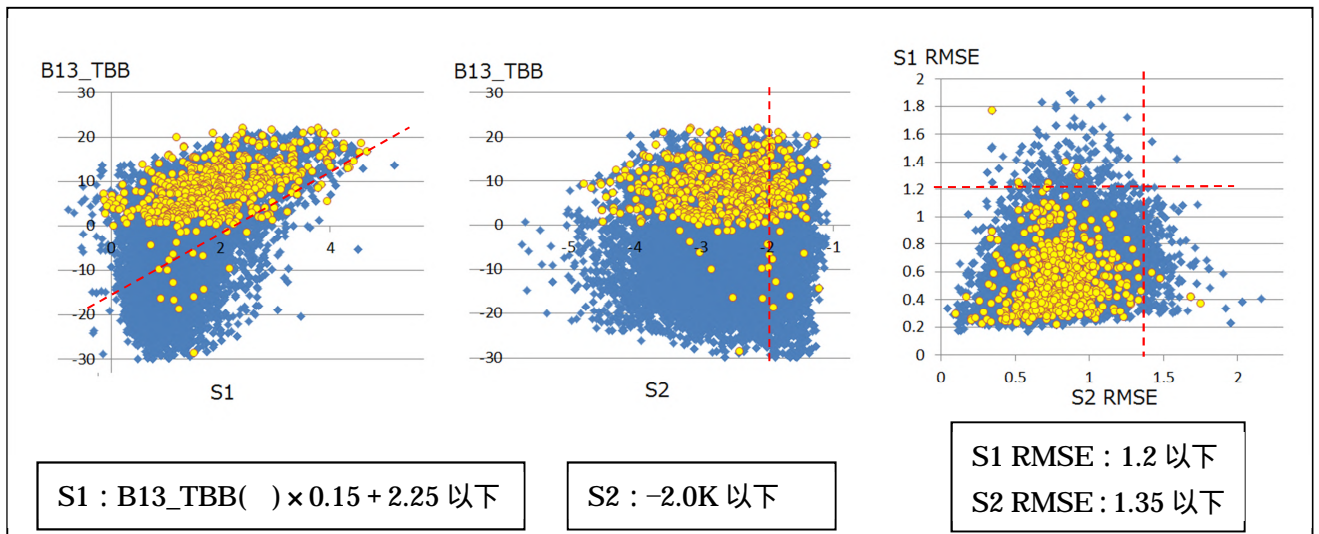
霧・層雲といった下層雲は S2 の輝度温度差が負になることから、S2 が負の場合 (-1 以下) の 1 年分の下層雲 (霧の有無に無関係) を抽出し、S1・S2 の月別の特徴を調べた。

第 6.5.3 図は、大陸を除いた日本付近北緯 20 度 ~ 50 度、東経 115 度 ~ 150 度の範囲で、2015 年 7 月 1 日から 2016 年 6 月 31 日までの 1 年間の 12UTC・18UTC の画像から霧を含む下層雲を抽出し、S1・S2 の月別平

均の変化を表したものである。S2 は年間を通してほぼ-2.5 に近い値をとり季節によって大きな変化はない。一方、S1 は海面水温の上昇する7月・8月に値が大きくなり、その後海面水温の季節変動に合わせて緩やかに小さくなる。これは海面水温が高くなると水蒸気の量が増え、差分値が大きくなる傾向を示していると考えられる。

#### 6.5.4 SYNOP による霧観測時の S1・S2・RMSE の分布と閾値

6.5.3 節の結果から、下層雲と霧を判別する閾値として S2 は通年固定値を設定した。S1 は、B13 の輝度温度と S1 の関係を一次式で表し、B13 の輝度温度によって変わる閾値を設定した。さらに、日中に霧を判断する場合に表面の様な滑らかさに着目することから、夜間においても S1 と S2 の平均からの RMSE を計算し、閾値を設定した。



第 6.5.4 図 SYNOP による霧観測時の S1・S2 の分布と閾値 (2015 年 6 月～2016 年 5 月)

散布図：青色マーク：霧なし 黄色マーク：霧あり。

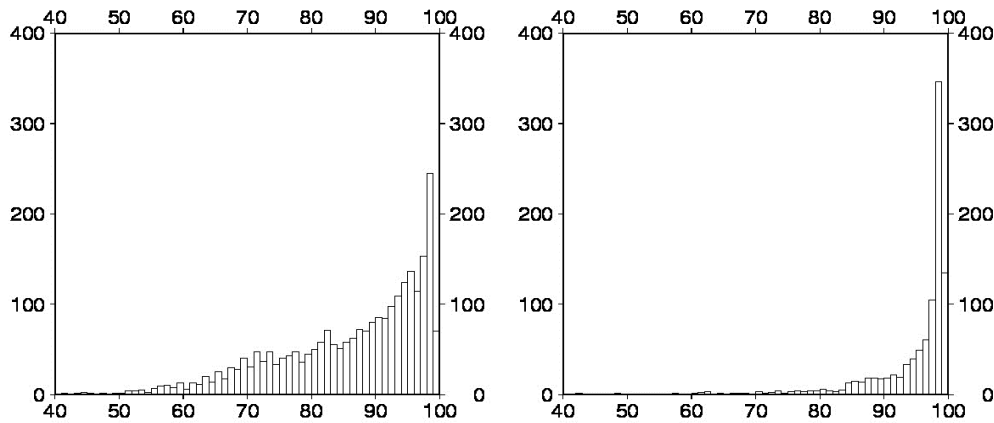
第 6.5.4 図は、2015 年 6 月 1 日から 2016 年 5 月 31 日の期間において、12・18UTC に霧を観測した地点の S1・S2 (S2 が-1 以下の格子で、東西南北最大 100km の範囲の平均) と B13\_TBB (輝度温度) 各 RMSE の分布図を示したものである。範囲は大陸を除いた日本付近北緯 20 度～50 度/東経 115 度～150 度である。また、分布図が示すように、霧には 0 以上の水で構成されるものだけではなく、過冷却の水や氷の事例が含まれている可能性があるが、0 未満の事例数は全体の 5% 未満で、閾値の決定はほとんど 0 以上の事例に依存している。

なお、霧事例をすべて内包する閾値では空振りが多くなると推定されることから、閾値すべてを満たした場合の霧の捕捉率を概ね 80% とした。

#### 6.5.5 MSM\_GPV による判断

第 6.5.4 図から、衛星観測による閾値のみでは霧なしの場合にも閾値を満たす事例 (空振り) が多く閾値として不十分であることが分かる。衛星で見える霧のほとんどの場合、明瞭な沈降性逆転層の上には乾いた層があることに着目すると、例えば 925hPa・850hPa・700hPa 付近が乾燥していれば、「衛星で捉えた下層雲はその高度より低い下層雲 (霧に近い) である」という判断ができる。また、地表付近の湿度が高ければ「接地している可能性が高い」と判断できる。したがって、モデルの湿度を霧判定の閾値として利用することと

した。第 6.5.5 図は、2015 年 7 月 1 日から 2016 年 7 月 31 日までの期間で衛星観測の閾値を満たした事例について、SYNOP の「霧あり」と「霧なし」で分けた MSM 地表面湿度(RH\_surf)のヒストグラムである。「霧なし」の場合は RH\_surf が 50%付近から 100%にかけて広く分布しているのに対し、「霧あり」の場合はほとんどの事例で RH\_surf が 90%以上となっている。また、期間全体での RH\_surf の平均値は「霧あり」では 94.4%、「霧なし」では 86.2%となった。この結果から RH\_surf が 90%以上であることを霧判定の閾値として加えた。



第 6.5.5 図 MSM 地表面湿度ヒストグラム

左：霧なし 右：霧あり 横軸：湿度 (%) 縦軸：事例数 (個)

### 6.5.6 衛星データと数値予報 GPV による判定フロー

第 6.5.6 図に霧判定フローを示す。衛星データ（日本付近：MSM 領域内の衛星データ）全格子について以下の処理を行い、霧の有無を判断させる。

衛星画像から、格子毎に S1・S2 が閾値以下の場合を霧候補として雲格子を抽出する（閾値作成では S1・S2 の平均をとったが、ここでは 1 格子ごとに処理）

各格子の B13\_TBB と 700hPa の気温を比較し、700hPa の気温より低ければ上・中・下層雲とする。700hPa の高度では中層で高度が高すぎるように思われるが、もともと霧の表面は放射冷却により温度が低くなる傾向があることと B13 の TBB 値が実際の大気より低く出る傾向があることを考慮した。

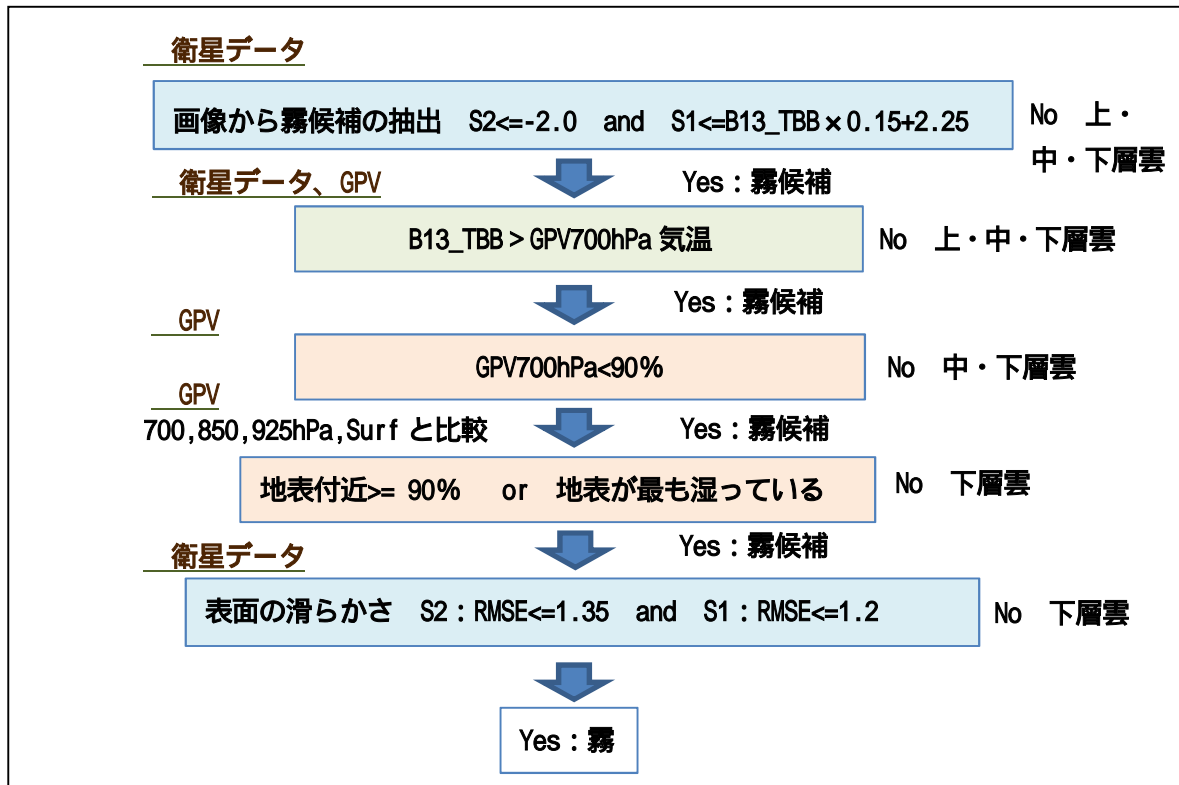
GPV700hPa 湿度が 90%以上の場合は中層の雲に対応している可能性が大きいと判断し、中・下層雲とする。

地表付近が 90%以上、または他の層に比べて地表が最も湿っていれば霧と判断する。90%未満であっても衛星では霧候補の下層雲が観測されていることは事実なので、どこかの層に湿度 100%に近い雲があると判断できる。MSM の精度を考慮し、地表が他の層に比べて最も湿っていれば霧候補と判断することにする。

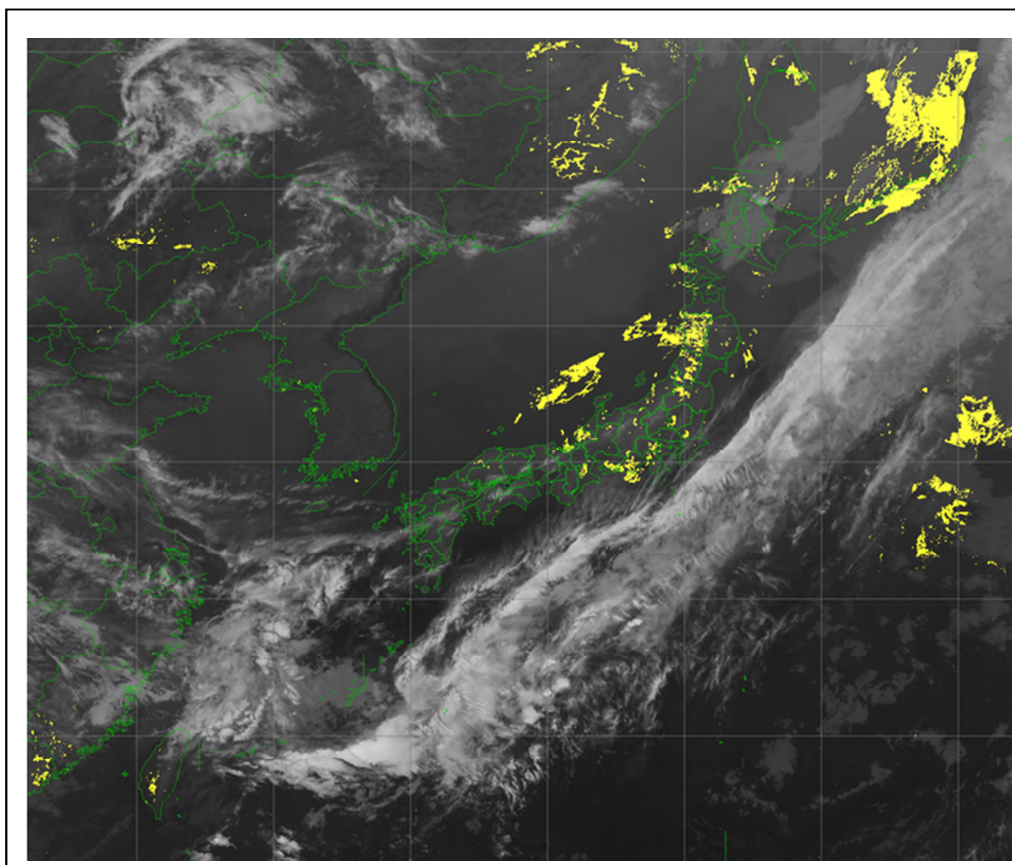
S1・S2 の各格子についてその格子を中心とした 51×51 格子の中から ~ の条件を満たした格子で RMSE を計算し、閾値以下であればその格子を霧と決定する。

### 6.5.7 霧監視プロダクト表示例

第 6.5.7 図は、画像の一例である。B13 画像に霧域を「黄色」で表示（通年、北から南まで同色）させている。上・中層雲の切れ間に霧が見える場合もあり、雲と霧の判別が容易にできる。なお、MSM\_GPV は最新の初期値から 10 分毎の内挿値を使用した。



第6.5.6図 霧判定フロー



第6.5.7図 夜間霧監視プロダクト表示例 B13と霧域：黄色（2016年5月17日1800UTC）  
この時間帯に北日本から東日本にかけての各県で濃霧注意報が発表されている。

## 6.5.8 プロダクトの精度評価

### (1)SYNOP・SHIP 霧観測による評価

2015年7月1日～2016年7月31日までの期間で、MSM領域内のSYNOP・SHIPから「霧あり」「霧なし」を読み取り、SYNOP・SHIP地点に最も近い1格子の霧判定結果について検証を行い、以下の結果を得た。

SYNOP・SHIPデータの取得条件

- ・SYNOP・SHIP目視観測で 雲量0 または 下層雲曇り または 霧
- ・太陽天頂角>93°（夜間）
- ・B13\_TBB >MSM700hPa 気温
- ・MSM700hPa 湿度<90%

SYNOP・SHIP「霧あり」の条件

- ・現在天気 40以上 59以下（霧か霧雨） かつ 天空不明（全雲量10） かつ 視程1km未満

第6.5.1表 検証で用いる分割表

		SYNOP・SHIP 霧観測		計
		霧あり	霧なし	
霧プロダクト霧判定	あり	適中 (F0)	空振り (FX)	F0+FX
	なし	見逃し (X0)	適中 (XX)	X0+XX
計		M	X	N

スレットスコア =  $F0 / (F0+FX+X0)$

適中率 =  $(F0+XX) / N$

空振り率 =  $FX / (F0+FX)$

見逃し率 =  $X0 / M$

捕捉率 =  $F0 / M$

第6.5.2表 検証結果

検証結果	SYNOP	SHIP
事例数	13667	1044
スレットスコア	0.307	0.351
適中率	0.840	0.940
空振り率	0.609	0.553
見逃し率	0.413	0.382
捕捉率	0.587	0.618

全期間を通じて霧発生予測に特化したスレットスコアはSYNOPで0.307、SHIPで0.351となった。空振り率はSYNOPで0.609、SHIPで0.553と高くなっている。SHIPの事例数はかなり少ないが、SYNOPよりスレットスコアが良く、海上警報のための海上霧監視にも利用できる。空振りした事例をSYNOP・SHIPで観測された雲形別に調査すると層積雲と層雲を霧と判断した事例が多数を占め、「もや」として観測した場合も多く含んでいる。

実況監視に当たっては、このスコアを踏まえてプロダクトを利用する必要がある。

(2)国内に発表された濃霧注意報と霧プロダクト表示との一致率

(1)で SYNOP・SHIP 霧観測で評価したが、霧は局地性が高いため、SYNOP・SHIP のみでは霧の発生を過少に見積もっていると思われる。一方、気象官署で発表される濃霧注意報は、予想で発表するため空振りも含まれるが、気象官署の目視観測と特別地域気象観測所の視程計・METAR・高速道路規制情報・ライブカメラによる実況監視により、気象官署で霧を観測していなくても担当予報地域のどこかで霧が発生している場合もあり、空振り率は小さいと思われる。そこで2016年1月1日から5月31日までの5ヶ月間（冬から春にかけて発生する放射霧や移流霧を対象）で全国の気象官署（稚内～石垣島）で、18UTCをはさんで濃霧注意報を発表したときに、予報担当地域のどこかで霧監視プロダクトが18UTCに表示域の大小によらず霧を表示していた事例数を調査した（ただし厳密に地域細分毎の発表と表示対応はとっていないので、評価を割り引いて見ていただきたい）。

濃霧注意報発表のべ回数：448

霧監視プロダクト霧表示数：410

一致率：91.5%

この結果から、濃霧注意報発表時にプロダクトが霧を表示する率が極めて高いことが分かる。

今後の課題としては、空振りや見逃しを少なくするための閾値の設定や統計手法の再検討、他のバンドの利用などが考えられる。また、WEB表示も閾値に応じて2段階程度に分けることを検討するなど、十分改善の余地があり今後も開発を進めていきたい。

#### 6.5.9 夜間霧監視プロダクトの留意点

「霧域」下層雲が混在している場合は「霧」の可能性ありと判断する。

衛星から上・中層雲と判断した場合には、下層に霧があるかどうかは判別できない（MSM\_GPVで地表が湿っていても霧と判断しない）。また、解像度の理由で川霧のような局地的な霧も表示できない場合がある。

霧表示域の真偽の判断には、隣県の濃霧注意報発表状況や観測実況とプロダクトの霧表示対応状況を見ることも有効である。

#### 参考文献

池田徹，小坂順一，2015：海上予報警報業務の概要と改善について．平成26年度予報技術研修テキスト，気象庁予報部，65-76．

井藤智史，2011：視程分布予想の開発．平成23年度数値予報研修テキスト，気象庁予報部，25-29．

井藤智史，2013：GSM 視程分布予想の開発．平成25年度数値予報研修テキスト，気象庁予報部，58-62．

沢井哲滋，1982：霧の理解のために．天気，29，731-447．

寺坂義幸，2016：第6章 ひまわり8号 RGB 合成画像の基礎．平成27年度予報技術研修テキスト，気象庁予報部，123-136．

EUMETSAT，2016：MSG CHANNELS Interpretation Guide (<http://www.eumetrain.org/IntGuide/>)．

Ishida, H. et al., 2014: Investigation of Low-Cloud Characteristics Using Mesoscale Numerical Model Data for Improvement of Fog-Detection Performance by Satellite Remote Sensing. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 53, 2246-2263.

NOAA, 2016: GOES-R SERIES PRODUCTS (<http://www.goes-r.gov/products/overview.html>).