

令和2年度 予報技術研修テキスト
ひまわり8号霧監視プロダクトの開発

気象技術開発室

気象技術開発室



気象庁
Japan Meteorological Agency

はじめに

霧域の把握は航空機、船舶、自動車等の安全な交通のために重要である。霧域の監視において、海上も含めた広範囲に及ぶ面的な情報を得る手段としては、衛星観測が有効である。衛星観測から作成されるRGB合成画像（志水2008などを参照）を用いることで、霧を含む下層雲域を面的に把握することができる。ただし、衛星は雲域を上空から観測するため、衛星観測のみから霧と下層雲（雲底が地表に接しているかないか）を区別することは困難である。

このため、気象庁では、ひまわり8号の観測データに加えて、地上付近の数値予報データの情報も考慮して霧の有無を判定し、面的な霧域の情報を提供する「ひまわり8号霧監視プロダクト」（以後、「霧プロダクト」と呼ぶ）を開発した。本稿では、本プロダクトのアルゴリズム、精度、利用上の留意点等について記述する。

なお、この霧プロダクトは、平成28年度予報技術研修テキスト掲載の「夜間霧監視プロダクト」（中鉢・丸山2017）を改良・発展させたものである。

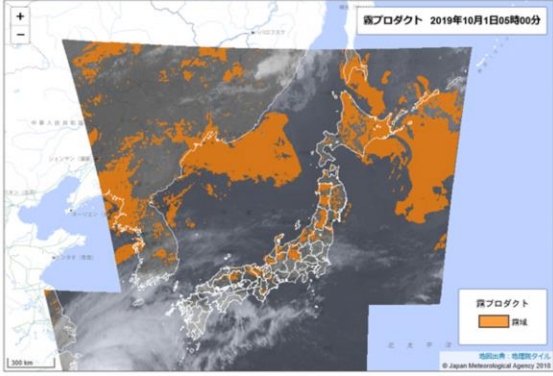
霧プロダクトの概要

航空気象用霧プロダクト

表示時間 10/1 05:00

色の濃さ 薄い 通常 濃い

霧プロダクト 2019年10月1日05時00分



霧プロダクト
霧域

公開ページURL <https://www.data.jma.go.jp/airinfo/index.html>

更新頻度：5分
水平解像度：約2.4km（ズームレベル最大時）

気象庁では、航空機の安全運航に資するため、2019年6月より「航空気象情報」のページ（<https://www.data.jma.go.jp/airinfo/index.html>）で霧プロダクトの提供を開始した。このページでは、赤外（バンド13）画像の上に、霧域と判定された領域を橙色で重ねて表示する。任意の領域を拡大して表示させることができ、ズームレベル最大時のプロダクトの水平解像度は約2.4kmである。プロダクト画像は5分毎に更新されるため、高頻度な霧域の監視が可能である。「表示時間」のプルダウンメニューから時刻を指定することで、12時間前までのプロダクト画像を確認することもできる。

ひまわり8号の観測波長

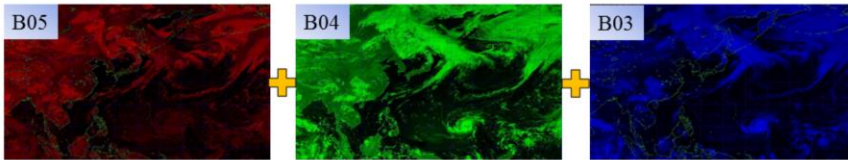
地表面や雲で反射された太陽光を観測

※バンド7は太陽光の反射と地表面や雲からの放射の両方を観測する

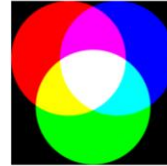
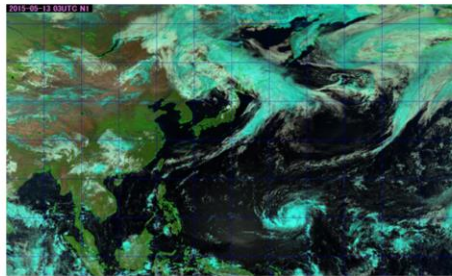
地表面や雲からの放射を観測

バンド	中心波長 (μm)	解像度 衛星直下点 (km)	主な用途
1	0.47	1	植生、エアロゾル
2	0.51		植生、エアロゾル
3	0.64		植生、下層雲・霧
4	0.86	1	植生、エアロゾル
5	1.6	2	雲相判別
6	2.3		雲粒有効半径
7	3.9	2	下層雲・霧、自然火災
8	6.2		上層水蒸気量
9	6.9		上・中層水蒸気量
10	7.3		中層水蒸気量
11	8.6		雲相判別、SO ₂ 検出
12	9.6		オゾン全量
13	10.4		雲画像、雲頂情報
14	11.2		雲画像、海面水温
15	12.4		雲画像、海面水温
16	13.3		雲頂高度

RGB合成画像とは

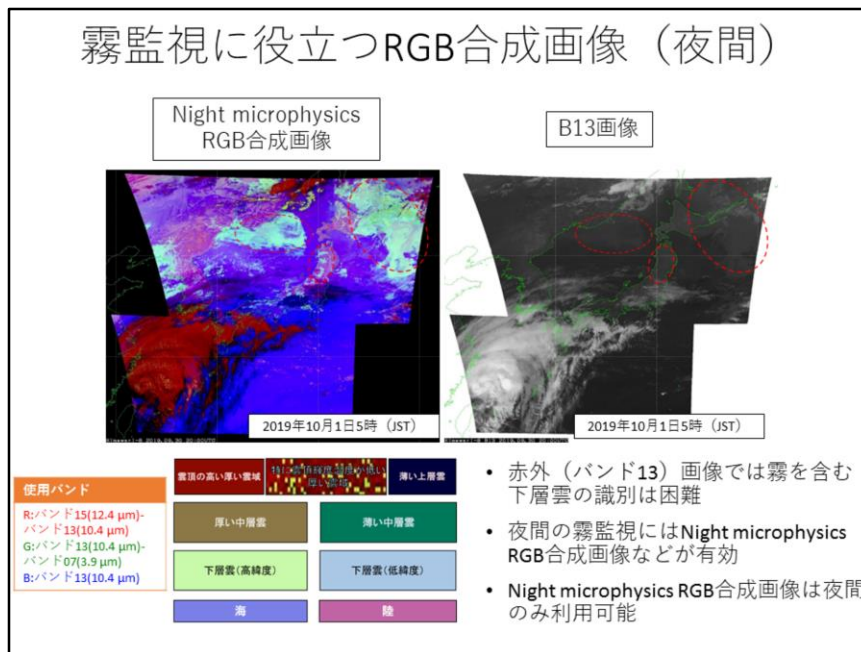


=



- それぞれの画像を赤(R)、緑(G)、青(B)に色付けして重ね合わせた画像をRGB合成画像と呼びます
- 重ね合わせた1枚の画像の色から情報を読み取ることができます

霧監視に役立つRGB合成画像（夜間）

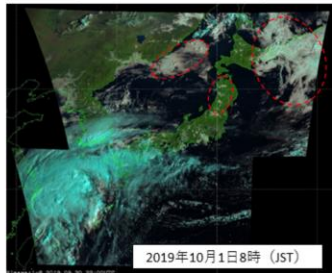


霧プロダクトの開発には、霧監視に役立つRGB合成画像を参考にしている。霧プロダクトのアルゴリズムの解説の前に、まず、RGB合成画像で霧がどのように見えるかを示す。

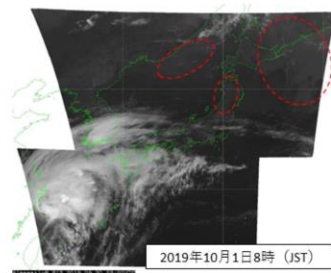
霧は雲頂高度が低いため、赤外（バンド13）画像からは識別が困難である。夜間の場合、Night microphysics RGB合成画像では霧を含む下層雲域が青緑色に見える。Night microphysics RGB合成画像は、日中は太陽光の影響を受け色合いが変化するため、夜間のみ利用可能である。

霧監視に役立つRGB合成画像（日中）

Natural color
RGB合成画像



B13画像



使用バンド

R:バンド05(1.6 μm)
G:バンド04(0.86 μm)
B:バンド03(0.64 μm)

雲頂の高い氷雲

雲頂の低い氷雲

海

植生ありの陸

砂漠

雲水域

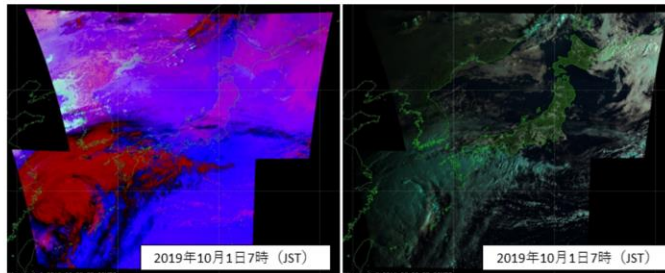
- 赤外（バンド13）画像では霧を含む下層雲の識別は困難
- 日中の霧監視にはNatural color RGB合成画像などが有効
- Natural color RGB合成画像は日中のみ利用可能

日中の場合、Natural color RGB合成画像では霧を含む下層雲域が白色に見える。Natural color RGB合成画像は、可視・近赤外バンドを利用して作成するため、日中のみ利用可能である。

霧監視に役立つRGB合成画像（昼夜境界）

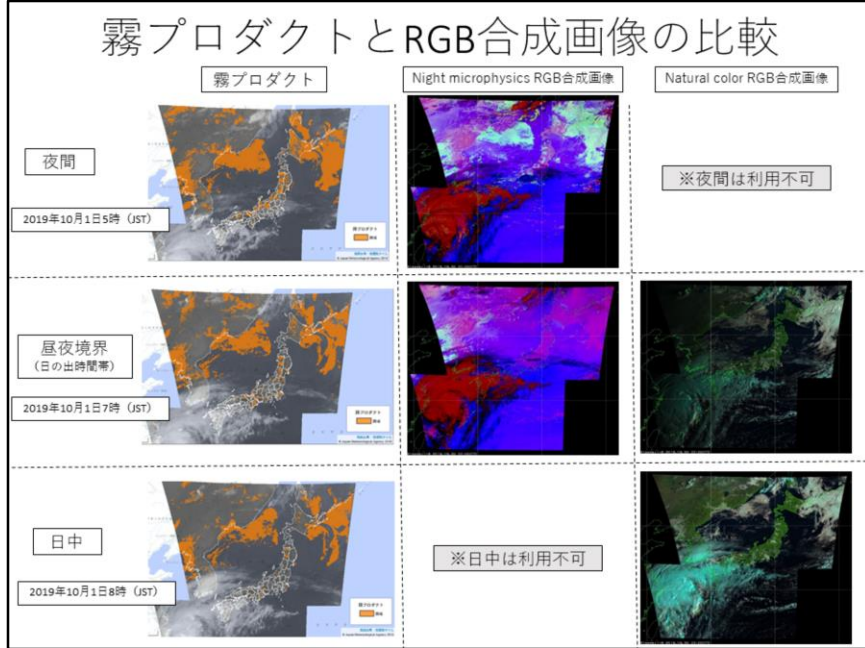
Night microphysics
RGB合成画像

Natural color
RGB合成画像



- 日の出・日の入りの時間帯（昼夜境界）では太陽光の有無によって見え方が変化することに留意が必要
- 昼夜境界では各画像の色解釈が難しくなり、複数の画像を並行して確認する必要も生じるため、霧監視作業が煩雑となる

日の出・日の入りの時間帯（昼夜境界）では、Night microphysics RGB合成画像、Natural color RGB合成画像は太陽光の有無によって見え方が変化することに留意が必要である。昼夜境界では各画像の色解釈が難しくなり、複数の画像を並行して確認する必要も生じるため、霧監視作業が煩雑となる。



霧監視に役立つRGB合成画像と同時刻の霧プロダクトを比較する。夜間はNight microphysics RGB合成画像の霧・下層雲域と、日中はNatural color RGB合成画像の霧・下層雲域と霧プロダクトがよく対応していることがわかる。昼夜境界では、各RGB合成画像単独では霧域の把握が困難であるが、霧プロダクトを利用することで一枚の画像で霧域を把握することができる。

利用データ

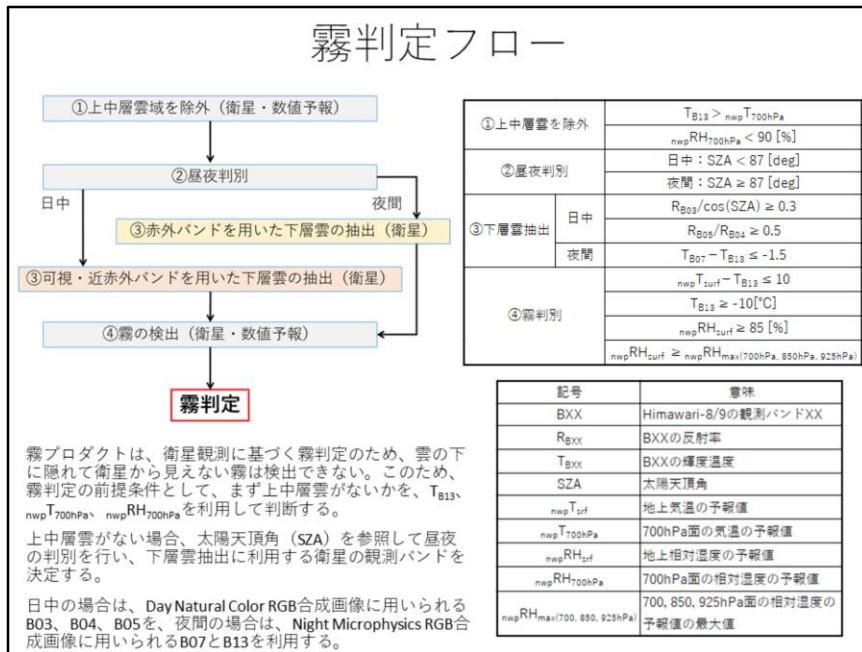
衛星観測データ (Himawari-8/9)			霧監視プロダクトでの利用	
観測バンド	中心波長 [μm]	水平解像度 [km]	日中	夜間
B01	0.47	1		
B02	0.51			
B03	0.64	0.5	○	
B04	0.86	1	○	
B05	1.6	2	○	
B06	2.3			
B07	3.9			○
B08	6.2			
B09	6.9			
B10	7.3			
B11	8.6			
B12	9.6			
B13	10.4		○	○
B14	11.2			
B15	12.4			
B16	13.3			

数値予報データ (MSM : Meso-Scale Model)
気温 (地上、700hPa)
相対湿度 (地上、925hPa、850hPa、700hPa)

霧プロダクトでは、左表のひまわり観測データおよび右表の数値予報データを利用する。

ここから、霧プロダクトのアルゴリズムについて述べる。
霧プロダクトでは、左表のひまわり観測データおよび右表の数値予報データを利用する。

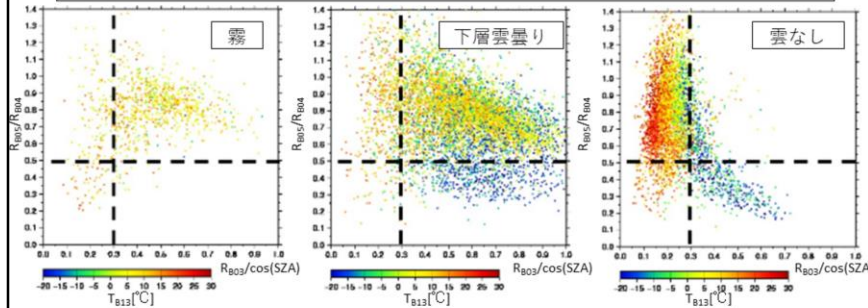
霧判定フロー



霧プロダクトの判定フローを左図に、各判定における閾値設定について右表に示す。霧プロダクトは、衛星観測に基づく霧判定のため、雲の下に隠れて衛星から見えない霧は検出できない。このため、霧判定の前提条件として、まず上中層雲がないかを、 T_{B13} 、 $nwpT_{700hPa}$ 、 $nwpRH_{700hPa}$ を利用して判断する。上中層雲がない場合、太陽天頂角 (SZA) を参照して昼夜の判別を行い、下層雲抽出に利用する衛星の観測バンドを決定する。日中の場合は、Day Natural Color RGB合成画像に用いられるB03、B04、B05を、夜間の場合は、Night Microphysics RGB合成画像に用いられるB07とB13を用いる。判定フローの「③下層雲抽出」、「④霧の検出」の閾値設定について次ページで詳しく述べる。

日中の下層雲抽出

2015年8月～2016年7月の日中 (SZA<87[deg]) のSYNOP観測点を含む0.02° 正方格子における $R_{B03}/\cos(SZA)$ および R_{B05}/R_{B04} の散布図 (色は $T_{B13}[^{\circ}C]$ を示す)



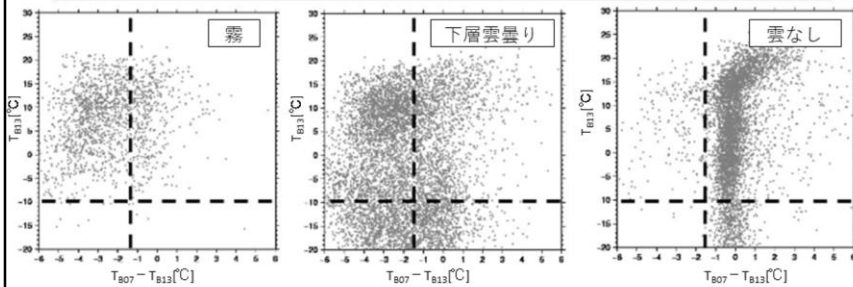
一般的に可視反射率は晴天域よりも雲域のほうが高いこと (志水ほか 2017などを参照) を利用して、 $R_{B03}/\cos(SZA) \geq 0.3$ を条件のひとつとした。

ただし、晴天であっても雪氷域の場合は可視反射率が高く、 R_{B03} の条件だけでは誤検出となる可能性がある。「雲なし」の散布図で $R_{B03}/\cos(SZA) \geq 0.3$ の T_{B13} (色) に着目すると、 $0^{\circ}C$ 以下の事例が多く、雪氷域であることが示唆される。B05にあたる近赤外の波長帯では、水雲に対して氷雲や雪氷域の反射率が小さくなることが知られており、雪氷域の誤検出を避けることを目的として $R_{B05}/R_{B04} \geq 0.5$ を条件として加えた。

2015年8月～2016年7月の日中 (SZA<87[deg]) のSYNOP観測点を含む0.02° 正方格子における $R_{B03}/\cos(SZA)$ および R_{B05}/R_{B04} の散布図を示す。22.4° -47.6° N、120.0° -150.0° Eの領域を対象とし、地上目視観測が「霧」、「下層雲曇り」、「雲なし (雲量0)」の場合でそれぞれ分けて描画している。日中の閾値はこの結果を基に霧を含む下層雲域を抽出するよう決定した。図中の点線はプロダクトでの閾値を示している。一般的に可視反射率は晴天域よりも雲域のほうが高いことを利用して、 $R_{B03}/\cos(SZA) \geq 0.3$ を条件のひとつとした。ただし、晴天であっても雪氷域の場合は可視反射率が高く、 R_{B03} の条件だけでは誤検出となる可能性がある。「雲なし」の散布図で $R_{B03}/\cos(SZA) \geq 0.3$ の T_{B13} (色) に着目すると、 $0^{\circ}C$ 以下の事例が多く、雪氷域であることが示唆される。B05にあたる近赤外の波長帯では、水雲に対して氷雲や雪氷域の反射率が小さくなることが知られており、雪氷域の誤検出を避けることを目的として $R_{B05}/R_{B04} \geq 0.5$ を条件として加えた。

夜間の下層雲抽出

2015年8月～2016年7月の夜間 (SZA \geq 87[deg]) のSYNOP観測点を含む0.02° 正方格子
における $T_{B07}-T_{B13}$ および T_{B13} の散布図



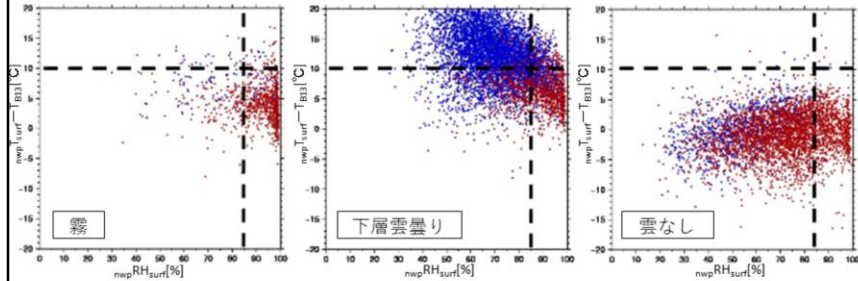
夜間の場合、水滴からなる下層雲では、 T_{B07} が T_{B13} よりも低くなることが知られており (Ellrod 1995などを参照)、 $T_{B07} - T_{B13} \leq -1.5$ を閾値とした。

また、「霧」の散布図の T_{B13} に着目すると、霧の場合はほとんどの事例で -10°C よりも高いことがわかる。このことから、霧以外の下層雲の抽出数を減らすため、 $T_{B13} \geq -10^\circ\text{C}$ を閾値として加えた。

夜間 (SZA \geq 87[deg]) の $T_{B07} - T_{B13}$ および T_{B13} について日中の図と同様に描画した散布図を示す。夜間の下層雲抽出の閾値はこの結果を基に決定した。夜間の場合、水滴からなる下層雲では、 T_{B07} が T_{B13} よりも低くなることが知られており (e.g. Ellrod 1995)、 $T_{B07} - T_{B13} \leq -1.5$ を閾値とした。また、「霧」の散布図の T_{B13} に着目すると、霧の場合はほとんどの事例で -10°C よりも高いことがわかる。このことから、霧以外の下層雲の抽出数を減らすため、 $T_{B13} \geq -10^\circ\text{C}$ を閾値として加えた。

日中の霧判別

2015年8月～2016年7月の日中 (SZA<87[deg]) のSYNOP観測点を含む0.02° 正方格子における $nwp RH_{surf}$ および $nwp T_{surf} - T_{B13}$ の散布図 (赤色は $nwp RH_{surf} \geq nwp RH_{max}(700hPa, 850hPa, 925hPa)$ 、青色は $nwp RH_{surf} < nwp RH_{max}(700hPa, 850hPa, 925hPa)$ を示す)



$nwp RH_{surf}$ に着目すると、霧の場合はほとんどの事例で85%よりも高いことがわかる。このことから、 $nwp RH_{surf} \geq 85\%$ を閾値とし、霧判定の指標として利用する。

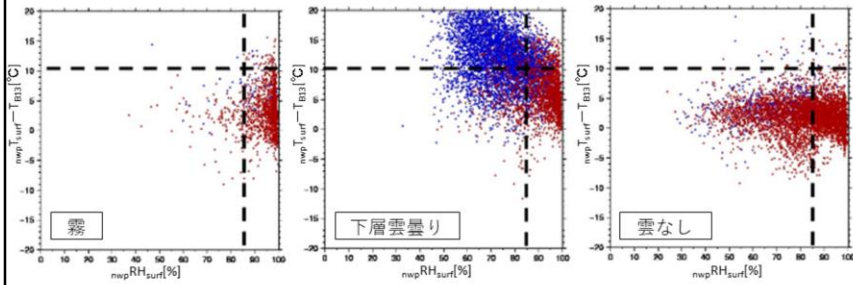
$nwp T_{surf} - T_{B13}$ に着目すると、霧の場合は下層雲の場合よりも差が小さい ($nwp RH_{surf}$ と T_{B13} の値が近い) ことがわかる。このことから、 $nwp RH_{surf} - T_{B13} \leq 10^{\circ}C$ を閾値に加え、霧判定を行う。

また、数値予報値の湿度を700hPa、850hPa、925hPa、地上の4層で比較したときに、霧の場合はほとんどの事例で地上の湿度が最も高いことがわかる。このことから、 $nwp RH_{surf} \geq nwp RH_{max}(700hPa, 850hPa, 925hPa)$ という条件をさらに加えた。

衛星観測によって抽出した霧を含む下層雲域について、数値予報データを利用して最終的な霧判定を行う。日中の $nwp RH_{surf}$ および $nwp T_{surf} - T_{B13}$ の散布図を示す。 $nwp RH_{surf}$ に着目すると、霧の場合はほとんどの事例で85%よりも高いことがわかる。このことから、 $nwp RH_{surf} \geq 85\%$ を閾値とし、霧判定の指標として利用する。 $nwp T_{surf} - T_{B13}$ に着目すると、霧の場合は下層雲の場合よりも差が小さい ($nwp T_{surf}$ と T_{B13} の値が近い) ことがわかる。このことから、 $nwp T_{surf} - T_{B13} \leq 10^{\circ}C$ を閾値に加え、霧判定を行う。また、数値予報値の湿度を700hPa、850hPa、925hPa、地上の4層で比較したときに、霧の場合はほとんどの事例で地上の湿度が最も高いことがわかる。このことから、 $nwp RH_{surf} \geq nwp RH_{max}(700hPa, 850hPa, 925hPa)$ という条件をさらに加えた。

夜間の霧判別

2015年8月～2016年7月の夜間 ($SAZ \geq 87[\text{deg}]$) のSYNOP観測点を含む 0.02° 正方格子における $n_{wp}RH_{surf}$ および $n_{wp}T_{surf} - T_{B13}$ の散布図 (赤色は $n_{wp}RH_{surf} \geq n_{wp}RH_{max}(700hPa, 850hPa, 925hPa)$ 、青色は $n_{wp}RH_{surf} < n_{wp}RH_{max}(700hPa, 850hPa, 925hPa)$ を示す)



日中と同様の傾向が見られるため、夜間も同様の閾値を設定した。

夜間の $n_{wp}RH_{surf}$ および $n_{wp}T_{surf} - T_{B13}$ の散布図を示す。日中と同様に閾値を設定した。

海陸別・昼夜別の評価結果

SYNOP・SHIPによる霧プロダクト評価結果
(2016年8月～2017年7月)

スレットスコア = $FO/(FO+FX+XO)$
 適中率 = $(FO+XX)/N$
 空振り率 = $FX/(FO+FX)$
 見逃し率 = XO/M

		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 (FO)	空振り (FX)	FO+FX
	なし	見逃し (XO)	適中 (XX)	XO+XX
計		M	X	N

SYNOP・SHIP	霧監視プロダクト (MSM利用版)			
	昼		夜	
	SYNOP(陸)	SHIP(海)	SYNOP(陸)	SHIP(海)
事例数	11707	1047	12676	913
霧観測数	887	33	1245	37
スレットスコア	0.306	0.237	0.324	0.375
適中率	0.913	0.945	0.880	0.962
空振り率	0.562	0.705	0.580	0.475
見逃し率	0.496	0.455	0.413	0.432

霧プロダクトの霧判定結果をSYNOPおよびSHIPと比較して評価を行った。
 比較するプロダクト格子は地上目視観測点を含む1格子とし、霧検出プ
 ローで上中層雲ありと判定された場合は評価対象外とした。評価対象領域
 は、 22.4° - 47.6° N、 120.0° - 150.0° Eとした。

スレットスコアに着目すると、日中の海上でややスコアが悪いものの、昼
 夜・海陸で0.3前後となっており、概ね同程度の精度であることがわかる。

ここから、霧プロダクトの精度について述べる。

夜間霧監視プロダクトとの比較

SYNOP・SHIPによる霧プロダクト評価結果
(2016年8月～2017年7月)

SYNOP・SHIP	夜			
	SYNOP (陸)		SHIP (海)	
	夜間霧	現行霧	夜間霧	現行霧
事例数	12676	12676	913	913
スレットスコア	0.290	0.324	0.258	0.375
適中率	0.861	0.880	0.946	0.962
空振り率	0.632	0.580	0.630	0.475
見逃し率	0.419	0.413	0.541	0.432

平成28年度予報技術研修テキスト掲載の「夜間霧監視プロダクト」と本稿の「霧プロダクト」の精度を比較する。上表ではそれぞれ夜間霧、現行霧と表記する。

本稿の霧プロダクトのほうが海陸共にスレットスコアが高く、夜間霧監視プロダクトよりも精度が向上していることがわかる。

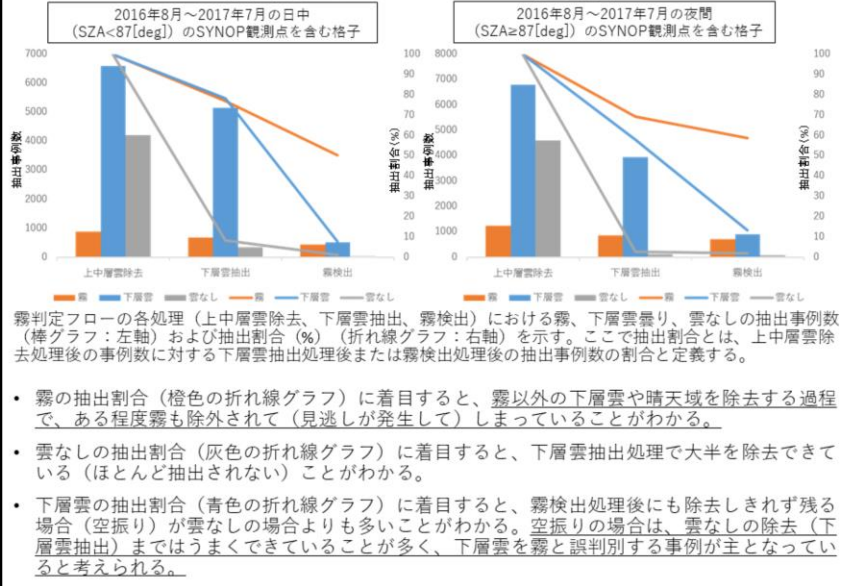
季節毎の評価結果

SYNOPによる季節ごとの霧プロダクト評価結果（秋：2016年9月～11月、冬：2016年12月～2月、春：2017年3月～5月、夏：2017年6月～8月）

SYNOP	霧監視プロダクト (MSM利用版)							
	昼				夜			
検証結果	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏
事例数	2351	4378	2857	2192	3181	4807	2795	1737
霧観測数	133	118	200	370	347	178	292	376
スレットスコア	0.210	0.204	0.344	0.329	0.336	0.278	0.308	0.330
適中率	0.931	0.962	0.924	0.796	0.876	0.945	0.864	0.732
空振り率	0.626	0.684	0.535	0.575	0.554	0.649	0.602	0.582
見逃し率	0.677	0.636	0.430	0.405	0.424	0.427	0.421	0.388

スレットスコアに着目すると、昼夜共に冬のスコアが悪いことがわかる。冬は霧の観測事例数が特に少なく、空振り率が高くなっていることから、霧以外の下層雲等の誤検出が多くなっていると考えられる。また、冬は見逃し率も高いことから、現在のアルゴリズムで氷霧の検出ができない（後述）ことも精度を悪化させている要因の一つと考えられる。

霧判定フローの有効性



利用上の留意点(1/2)

①上層雲の下にある霧は検出できない

衛星観測に基づく霧判定のため、上中層雲の下に隠れて衛星から見えない霧は検出できない。

②氷霧は検出できない

衛星観測では雪氷域と氷でできた下層雲（氷霧を含む）の見え方が似ていて区別が困難であることから、霧プロダクトの検出対象は水でできた霧のみとしており、氷霧の検出はできない。

③数値予報モデルの精度に依存する

プロダクトの霧判定には数値予報モデルの予報値を利用しているため、予報値が実況と大きく異なる場合などでは、霧検出の精度が落ちることがある。

ここから、霧プロダクトの利用上の留意点について述べる。

利用上の留意点(2/2)

④衛星の空間分解能未満の局所的な霧や非常に薄い霧の検出は困難

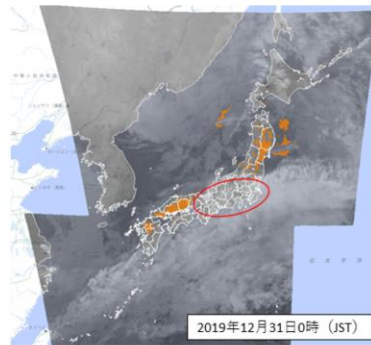
ひまわり 8 号観測の水平解像度（赤外バンドでは衛星直下点で約 2km）よりも小さいスケールの霧の場合、その特徴を衛星から捉えることは困難である。また、地表面が透けて見えるような非常に薄い霧の場合も衛星からその特徴を十分に捉えることが難しく、霧の検出ができないことがある。

⑤日の出・日の入りの時間帯に霧の誤検出が増える傾向がある

日中の霧検出においては既述のように太陽天頂角（SZA）で補正したB03反射率（ $R_{B03}/\cos(SZA)$ ）を閾値のひとつとして用いている。SZAが大きい日の出・日の入りの時間帯は、地表面が明るく見え、下層雲抽出の閾値（ $R_{B03}/\cos(SZA) \geq 0.3$ ）を超えて誤検出となる場合がある。

上中層雲がある場合の表示例 利用上の留意点①の具体例

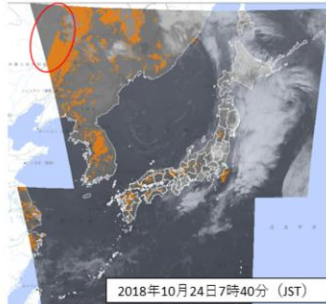
霧プロダクト



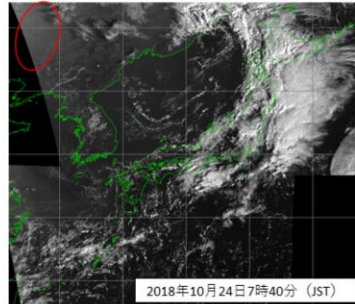
図の時間帯には東北地方から中国地方にかけて本州の複数の地上観測点で霧が観測されていた。霧プロダクトは、東北地方や中国地方の霧は検出できているが、関東甲信地方などの赤色の丸で囲われた領域では、赤外 (B13) 画像で白く表示されており、上中層雲があるために霧の検出ができていない。

日の出時間帯の誤検出例 利用上の留意点⑤の具体例

霧プロダクト



SZA補正B03反射率画像
($R_{B03}/\cos(SZA)$)



左図の霧プロダクトでは、赤色の丸で囲われた領域で直線状に途切れた不自然な霧域が検出されている。この直線の東側では可視・近赤外バンドを用いる日中の検出アルゴリズムを使用しており、地表面を霧と誤判別している。太陽天頂角 (SZA) が大きい日の出・日の入りの時間帯は、右図の赤色の丸で示すように地表面が明るく見えるため、下層雲抽出の閾値 ($R_{B03}/\cos(SZA) \geq 0.3$) を超えて誤検出となる場合がある。

今後の改良方針

- 人工知能(AI)の導入
現行アルゴリズムの閾値設定には個人の主観が含まれており、最適とは言えない。AIの導入により最適な設定を検討したい。
- 最適雲解析(OCA)プロダクトの導入
気象庁では、雲物理量を求める最適雲解析 (OCA) プロダクト (林 2018) を開発中である。OCAプロダクトを利用して、雲粒の大きさや雲の厚さなどの情報も考慮することで精度向上できないか検討したい。
- 直近の地上霧観測データの利用
直近の地上霧観測データやライブカメラの映像などを参照し、信頼度情報を付加するなどして精度向上できないか検討したい。

まとめ

本稿では、霧プロダクトの利用法だけでなく、アルゴリズムや精度についても詳しく解説した。霧プロダクトの利点を以下にまとめる。

- ①海上も含めた面的な霧域の把握ができる
- ②昼夜の違いを意識することなく霧を監視することができる
- ③数値予報データも組み合わせることで霧の可能性の高い領域を表示できる

現行のプロダクトにはまだまだ改良の余地がある。より有用なプロダクトとなるよう引き続き開発を進めてきたい。

参考文献

- 志水菊宏, 2008: EUMETSATにおけるMSG/SEVIRI (回転式高度可視・赤外イメージャ) のRGB合成画像技術の紹介とMTSAT-1R衛星画像への適用, 気象衛星センター技術報告, 51, 1-23
- 志水菊宏, 齋藤幸太郎, 山本幹人, 2017: ひまわり8号・AHIの16バンド画像の特性, 気象衛星センター技術報告, 62, 39-71
- 中鉢幸悦, 丸山拓海, 2017: 第6章 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. 平成28年度予報技術研修テキスト, 127-133.
- 林昌宏, 2018: ひまわり8号観測バンドにおける雲放射特性の計算方法とその応用, 気象衛星センター技術報告, 63, 1-38
- Ellrod, G.P. Advances in the detection and analysis of fog at night using GOES multispectral infrared imagery. Weather Forecast. 1995, 10, 606-619.