

気象衛星センター技術報告

第66号 (2022)

**METEOROLOGICAL SATELLITE CENTER
TECHNICAL NOTE**

No.66 (2022)

気象衛星センター

令和4年10月

METEOROLOGICAL SATELLITE CENTER

235, Nakakiyoto 3 Chome, Kiyose-shi

Tokyo 204-0012, JAPAN

OCTOBER 2022

ひまわり 8 号霧監視プロダクトの開発 Himawari-8 Fog Detection Product Development

丸山拓海*¹ 石田春磨*² 中鉢幸悦*³
MARUYAMA Takumi ISHIDA Haruma CHUBACHI Koetsu

Abstract

Fog monitoring is critical for safety in the areas of aviation, maritime navigation and road travel. Satellite observation provides wide coverage in monitoring of fog distribution over land and sea surfaces, but this technique alone does not allow effective discrimination between fog and low cloud (i.e., whether the cloud bottom touches the ground) because of its aerial nature. To address this issue, JMA's Himawari-8 Fog product incorporates numerical weather prediction data for altitudes around the ground surface in addition to Himawari-8 observation results, thereby creating two-dimensional information for determining the presence of fog. This report describes the product's algorithm, accuracy and considerations to be noted in usage.

要旨

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。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いないか)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」を開発した。本報告では、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。

1. 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。霧域の監視には、地上の目視観測、視程計による自動観測、ライブカメラ等が役立っているが、これらはある特定の範囲にある限られた点の情報である。霧域全体の把握が必要な予報官や管制官にとっては、移流霧の動きの監視等、海上も含めた広範囲に及ぶ面的な情

報が必要であり、面的な情報を得る手段として、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(e.g. Shimizu 2020)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霧ではない下層雲(雲底が地表に接しているかいないか)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(Bessho et al. 2016)の観測データに加え

*¹ 気象庁大気海洋部業務課気象技術開発室

*² 気象研究所気象観測研究部

*³ 株式会社ハレックス

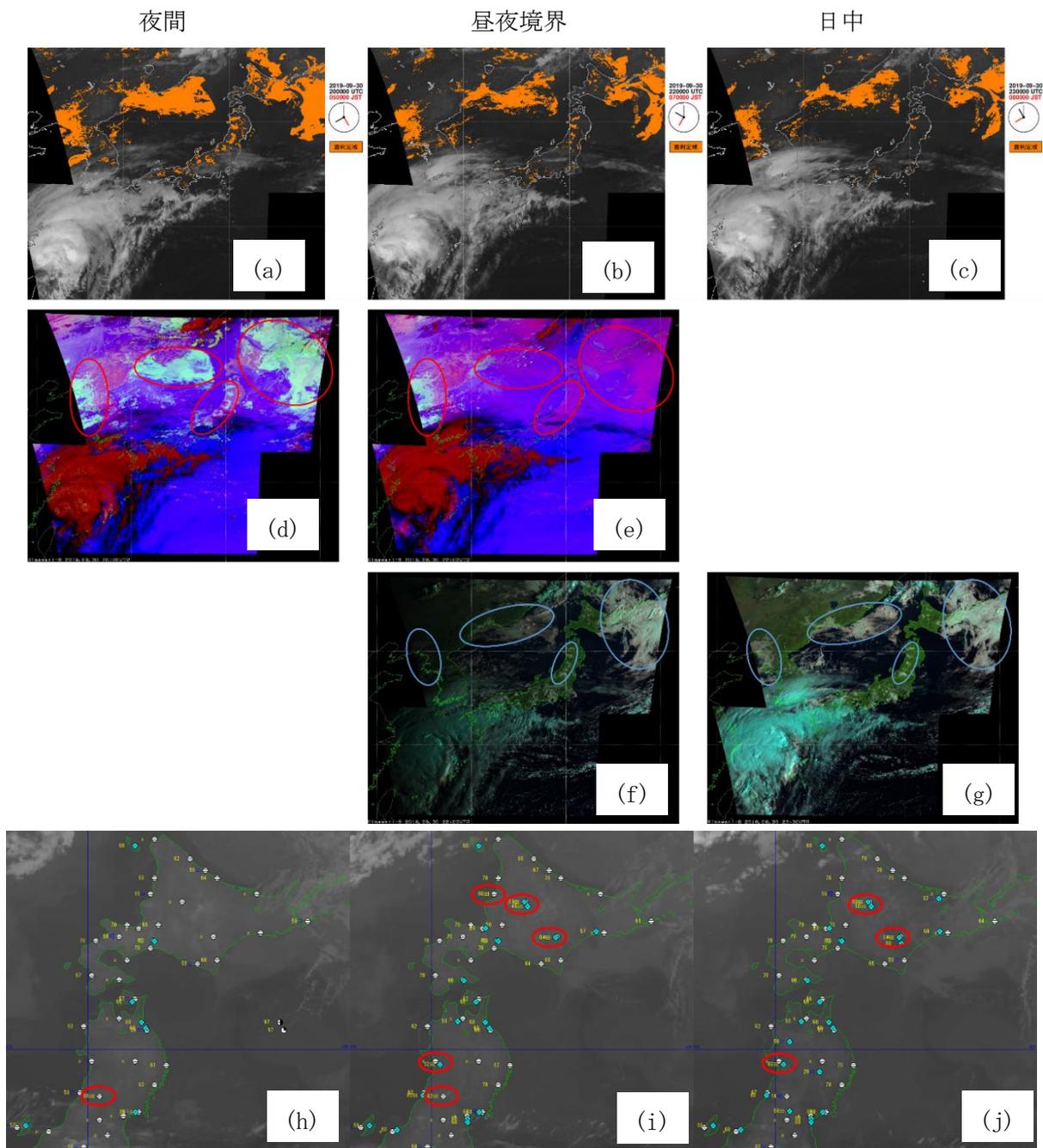


図1 霧プロダクトの表示例

(a) (b) (c)は霧プロダクト、(d) (e)はNight microphysics RGB 合成画像、(f) (g)はNatural color RGB 合成画像、(h) (i) (j)は地上観測点の天気および視程（霧観測点を赤丸で示す。背景はB13画像。）。(a) (d) (h)は2019年9月30日20UTC（夜間）、(b) (e) (f) (i)は2019年9月30日22UTC（昼夜境界）、(c) (g) (j)は2019年9月30日23UTC（日中）。

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。Ishida et al. (2014)では、衛星観測データおよび数値予報データを利用した霧に関する研究が行われており、本プロダクト開発の参考になっている。

本報告の構成として、第2節で霧プロダクトの概要、第3節で霧プロダクトのアルゴリズム、第4節で霧プロダクトの精度について記述する。第5節では霧プロダクトの利用上の留意点について、第6節では今後の開発計画について記述し、第7節で本報告をまとめる。

表 1 霧監視プロダクトに利用する
衛星観測データ

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				

表 2 霧監視プロダクトに利用する
数値予報データ

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)	

2. 霧監視プロダクトの概要

霧プロダクトの表示例を図 1(a) (b) (c)に示す。赤外 (B13) 画像を背景に、霧域を橙色で表示する。日本周辺の領域を対象として、航空カスタマー向けにプロダクトの提供を行っている。水平解像度は 0.02°、時間解像度は 5 分である。数値予報データはメソスケールモデル (MSM) (JMA, 2022) の FT (予報時間) =3 以降を時間内挿して利用しており、3 時間毎正時 (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21UTC) に最新の初期時刻の予報値に利用を切り替えている。図 1(a) (b) (c) の時間帯には、霧プロダクトで霧域と示されている北海道・東北地方の複数の地上観測点で霧が観測されていた (図 1(h) (i) (j))。

霧プロダクトとの比較のため、霧を含む下層雲の監視に役立つ RGB 合成画像である Night microphysics RGB 合成画像 (図 1(d) (e)) および Natural color RGB 合成画像 (図 1(f) (g)) を示

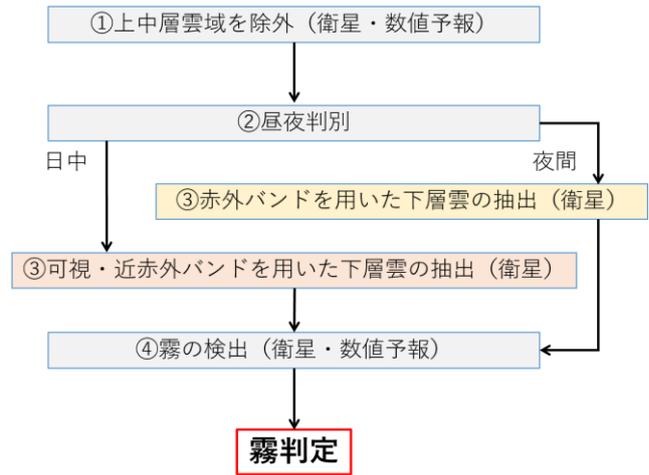


図 2 霧監視プロダクトの判定フロー

表 3 霧監視プロダクトの各閾値設定

①上中層雲を除外	$T_{B13} > nwpT_{700hPa}$	
	$nwpRH_{700hPa} < 90 [\%]$	
②昼夜判別	日中 : SZA < 87 [deg]	
	夜間 : SZA ≥ 87 [deg]	
③下層雲抽出	日中	$R_{B03}/\cos(SZA) \geq 0.3$
	夜間	$R_{B05}/R_{B04} \geq 0.5$
④霧判別	$T_{B07} - T_{B13} \leq -1.5$	
	$nwpT_{srf} - T_{B13} \leq 10$	
	$T_{B13} \geq -10[^\circ C]$	
	$nwpRH_{srf} \geq 85 [\%]$	
$nwpRH_{srf} \geq nwpRH_{(700/850/925hPa)}$		

す。前者は夜間の霧監視、後者は日中の霧監視に用いられる。各 RGB 合成画像の色解釈の詳細については、Shimizu 2020 を参照願いたい。Night microphysics RGB 合成画像では、赤丸で示すように夜間 (図 1(d)) は下層雲域が明るい青色で明瞭であるが、昼夜境界の時間帯 (図 1(e)) では太陽光の影響を受けて青色が不明瞭となる。一方、Natural color RGB 合成画像については、青丸で示すように日中 (図 1(g)) は下層雲域が明るい灰色で明瞭であるが、昼夜境界の時間帯 (図 1(f)) では画像が暗く不明瞭となっている。霧プロダクトの霧域 (橙色) は、夜間は Night microphysics RGB 合成画像の明るい青色 (赤丸) と、日中は Natural color RGB 合成画像の明るい灰色 (青丸) とよく対応している。また、昼夜境界の時間帯では、太陽光の影響が弱い西側では Night microphysics RGB 合成画像の明るい青色と、太陽光の影響が強い東側では Natural color RGB 合成画像の明るい灰色とよく対応していることがわ

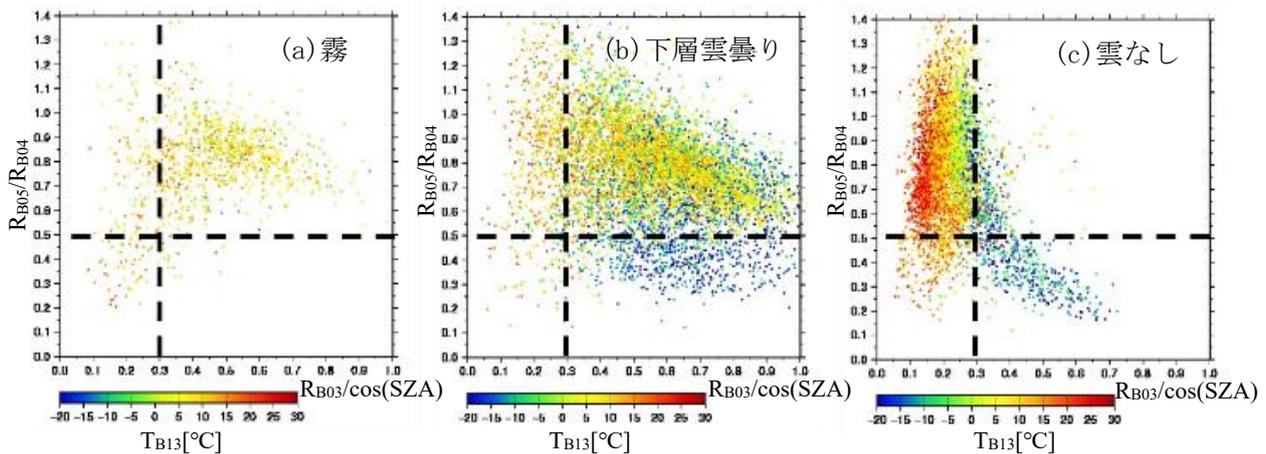


図3 2015年8月～2016年7月の日中 (SZA<87[deg]) のSYNOP観測点を含む格子における $R_{B03}/\cos(SZA)$ および R_{B05}/R_{B04} の散布図 (色は T_{B13} [°C] を示す)

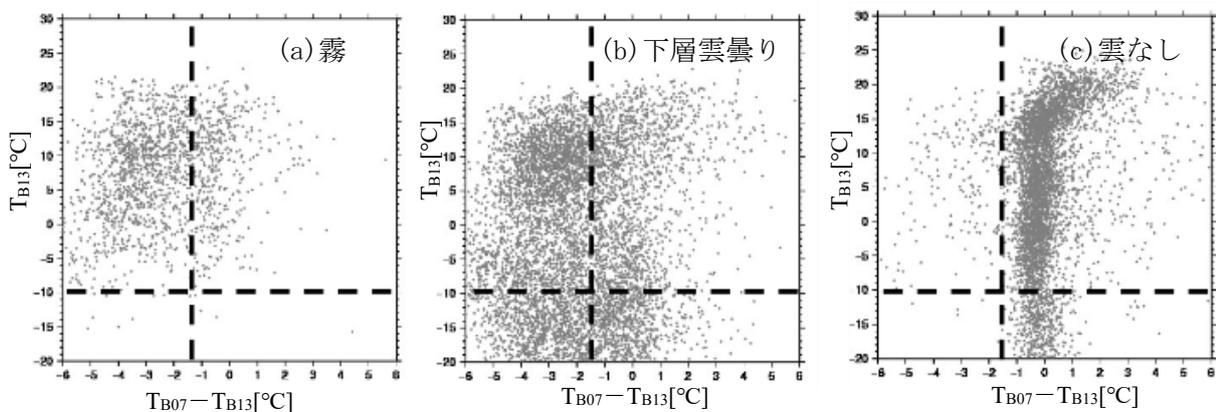


図4 2015年8月～2016年7月の夜間 (SZA≥87[deg]) のSYNOP観測点を含む格子における $T_{B07} - T_{B13}$ および T_{B13} の散布図

かる。RGB合成画像による霧監視の場合は、昼夜境界(日の出または日の入り)の時間帯では、太陽光の有無によって画像の色合いが変化することに留意しなければならないが、複数の画像を並行して確認する必要も生じるが、霧プロダクトを利用することで、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. 霧監視プロダクトのアルゴリズム

霧プロダクトのアルゴリズムの詳細について述べる。

本プロダクトで利用するひまわり観測バンドおよび数値予報(MSM)データをそれぞれ表1、表2に示す。霧プロダクトは、これらの衛星観測値および数値予報値に閾値を設定することで霧を判定する。なお、閾値の設定については2015年8月

～2016年7月のデータを利用し、第4節で述べるプロダクトの精度については2016年8月～2017年7月のデータを利用した。

3.1. 閾値の設定方法

閾値の設定に際して、地上実況気象通報式(SYNOP)および海上気象実況通報式(SHIP)の目視観測記録から、「霧」、「下層雲(層積雲、層雲、積雲、積乱雲)曇り(霧を除く)」、「雲なし(雲量0)」の観測事例を抽出し、それぞれの事例において、目視観測点を含む格子の衛星観測値および数値予報値の特性を調査した。格子間隔は緯度経度方向に0.02度であるため、対象格子点と目視観測点との距離は緯度経度方向にそれぞれ0.01度以下である。本プロダクトの検出対象は「霧」であり、「霧以外の下層雲曇り」との区別を目的とした閾値も設定している。

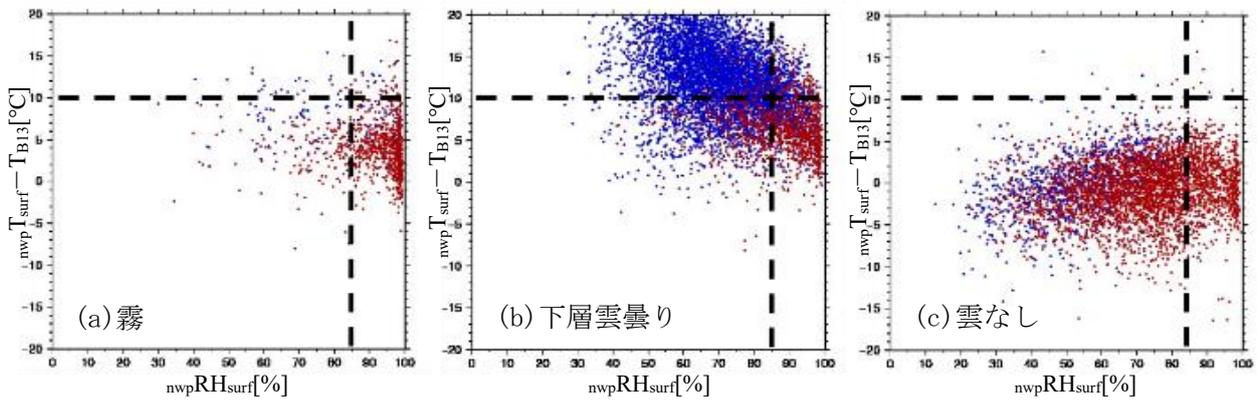


図5 2015年8月～2016年7月の日中 (SZA<87[deg]) のSYNOP観測点を含む格子における $nwpRH_{surf}$ および $nwpT_{surf} - T_{B13}$ の散布図 (赤色は $nwpRH_{surf} \geq nwpRH_{max}(700/850/925hPa)$ 、青色は $nwpRH_{surf} < nwpRH_{max}(700/850/925hPa)$ を示す)

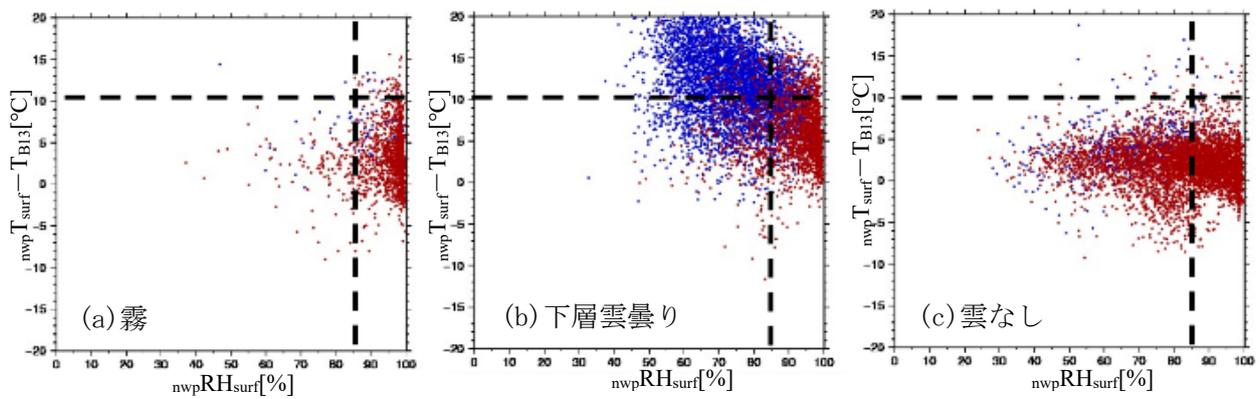


図6 2015年8月～2016年7月の夜間 (SZA>87[deg]) のSYNOP観測点を含む格子における $nwpRH_{surf}$ および $nwpT_{surf} - T_{B13}$ の散布図 (赤色は $nwpRH_{surf} \geq nwpRH_{max}(700/850/925hPa)$ 、青色は $nwpRH_{surf} < nwpRH_{max}(700/850/925hPa)$ を示す)

3.2. 判定フロー

本プロダクトの判定フローを図2に、各判定における閾値設定について表3に示す。なお、各記号の意味については、付録を参照願いたい。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、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。図3は、2015年8月～2016年7月の日中 (SZA<87[deg]) のSYNOP観測点を含む格子における $R_{B03}/\cos(SZA)$ および R_{B05}/R_{B04} の散布図である。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 (e.g. Shimizu et al. 2017) 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 (e.g. Shimizu et al. 2017)、 R_{B03} の条件だけでは誤検出となる可能性がある。図3(c)で $R_{B03}/\cos(SZA) \geq 0.3$ の T_{B13} (色) に着目すると、0°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 (e.g. Shimizu et al. 2017)、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。なお、この条件を設定することで氷霧の検出ができなくなるため、現在の霧プロダクトは水滴の霧を検出対

表 4 SYNOP および 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				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
		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			

表 5 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～2017 年 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

象としている。図 4 は、夜間 ($SZA \geq 87 [deg]$) の $T_{B07} - T_{B13}$ および T_{B13} について図 3 と同様に描画した散布図である。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、図 4(a) の T_{B13} に着目すると、霧の場合はほとんどの事例で $-10^{\circ}C$ 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、 $T_{B13} \geq -10^{\circ}C$ を閾値として加えた。

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。図 5、図 6 は、それぞれ、日中、夜間の $nwpRH_{surf}$ および $nwpT_{surf} - T_{B13}$ の散布図である。これらの結果を基に霧域を判定する閾値を決定した。 $nwpRH_{surf}$ 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、 $nwpRH_{surf} \geq 85\%$ を閾値とし、霧判定の指標として利用する。 $nwpT_{surf} - T_{B13}$ 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 ($nwpT_{surf}$ と T_{B13} の値が近い) ことがわかる。このことから、 $nwpT_{surf} - T_{B13} \leq 10^{\circ}C$ 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、 $nwpRH_{surf} \geq nwpRH_{max(700/850/925hPa)}$ という条件をさらに加えた。

表 3 の閾値設定によって霧判定された事例の中で SYNOP で霧の事例の割合は、閾値設定調査期間 (2015 年 8 月～2016 年 7 月) において、日中は 47%、夜間は 47% であった。一方、霧判定された事例の中で、SYNOP で下層雲の事例の割合は、日中は 47%、夜間は 45% であった。

4. 霧監視プロダクトの精度

本プロダクトの精度について、評価手法および各評価結果を記述する。

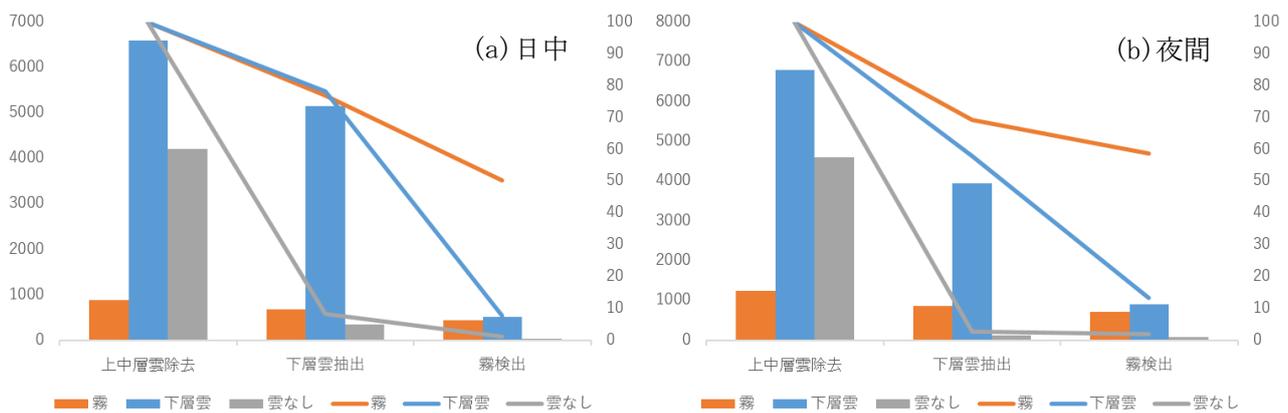


図7 霧判定フローの各処理における霧、下層雲曇り、雲なしの抽出事例数（棒グラフ：左軸）および抽出割合（折れ線グラフ：右軸）
 (a)：2016年8月～2017年7月の日中（ $SZA < 87 [deg]$ ）のSYNOP観測点を含む格子
 (b)：2016年8月～2017年7月の夜間（ $SZA \geq 87 [deg]$ ）のSYNOP観測点を含む格子

4.1. 精度評価手法

本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、霧検出フ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、 $22.4^{\circ} - 47.6^{\circ} N$ 、 $120.0^{\circ} - 150.0^{\circ} E$ とした。

4.2. 昼夜別・海陸別の評価結果

表4に昼夜別・海陸別の2016年8月～2017年7月の1年間の評価結果を示す。SYNOP・SHIPとの比較をそれぞれ陸上・海上の評価結果としている。なお、霧判定フローで上中層雲ありとして霧検出不可となった霧の事例数の割合は、SYNOP霧観測の全事例に対して、日中は59%、夜間は52%であった。適中率が昼夜・海陸すべてで80%以上となっているが、これは、「霧なし」の場合の適中数が多いことによる。そこで、「霧あり」の適中について評価するため、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、時間帯や地表面状態に依らず概ね同程度の精度であることがわかる。見逃し率は40～50%程度、空振り率は50～70%程度となった。

4.3. 季節別の評価結果

表5に昼夜別・季節別の陸上の評価結果を示す。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、霧以外の下層雲等を霧と誤検出すること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（第5節b）ことも精度を悪化させている要因の一つと考えられる。

4.4. 霧判定フローの有効性の確認

霧判定フローの各処理（上中層雲除去、下層雲抽出、霧検出）における霧、下層雲曇り、雲なしの抽出事例数および抽出割合を図7に示す。ここで抽出割合とは、上中層雲除去処理後の事例数に対する下層雲抽出処理後または霧検出処理後の抽出事例数の割合と定義する。霧の抽出割合（橙色折れ線）に着目すると、下層雲抽出処理によって、日中は23%、夜間は31%の霧の事例を晴天と判断して見逃している（下層雲抽出処理での折れ線の減少量に対応）ことがわかる。また、その後の霧検出処理によって、日中は27%、夜間は10%の霧を下層雲と判断する見逃しがあり（霧検出処理での折れ線の減少量に対応）、最終的な霧の抽出割合は日中は50%、夜間は59%となっている（橙色折れ線の右端の値に対応）。霧検出処理後の雲なしの抽出割合に着目すると、日中は1%、夜間は2%となっている（灰色折れ線の右端の値に対応）。一方、霧検出処理後の下層雲曇りの抽出割合に着目すると、日中は8%、夜間は13%となっている（青色折れ線の右端の値に対応）。このことから、空振りの場合は、雲なしの除去（下層雲の抽出）まではうまくできており、霧ではない下層雲を霧と誤

表 6 図 2 の判定フローで下層雲抽出処理まで（霧検出処理なし）の場合の SYNOP による評価結果（2016 年 8 月～2017 年 7 月）

SYNOP	霧監視プロダクト	
	昼	夜
事例数	11707	12676
霧観測数	887	1245
スレットスコア	0.107	0.162
適中率	0.511	0.648
空振り率	0.890	0.825
見逃し率	0.231	0.306

判別する事例が主となっていると考えられる。

また、図 2 の判定フローで、下層雲抽出処理まで（霧検出処理なし）の検出結果を SYNOP で評価した場合のスレットスコアは、表 6 に示すように日中は 0.107、夜間は 0.162 であった。表 4 のスレットスコア（日中 0.306、夜間 0.324）と比較すると、衛星データに数値予報データを組み合わせることで、単独利用よりもスレットスコアが日中は約 2.9 倍、夜間は約 2 倍となる精度向上が確認できる。

5. 利用上の留意点

本プロダクトを利用する際には、以下の点に留意する必要がある。

- a) 上中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。図 8 に上中層雲がある場合の霧プロダクトの表示例を示す。こ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。
- b) 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

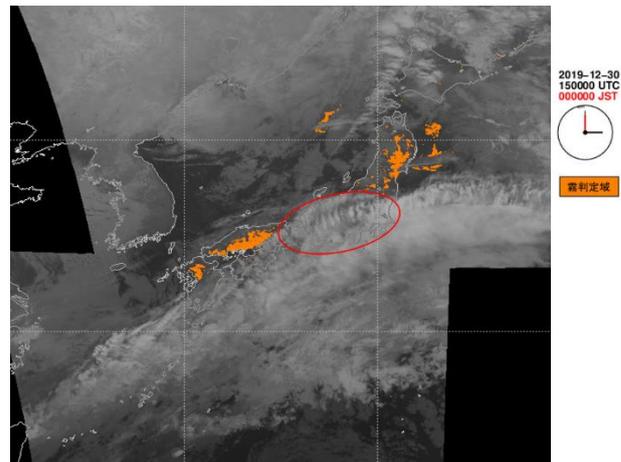


図 8 上中層雲がある場合の霧監視プロダクトの表示例（2019 年 12 月 30 日 1500UTC）

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。

- c) 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。
- d) 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。
- e) 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

図 9 に日の出時間帯の霧の誤検出事例を示す。図 9(a) 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。日中の霧検出においては既述のように SZA で補正した反射率 ($R_{B03}/\cos(SZA)$) を用いているが、SZA が大きい日の出・日の入りの時間帯は、図 9(b) 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 ($R_{B03}/\cos(SZA) \geq 0.3$) を超えてしまう場合がある。また、数値予報モデルで夜間の陸上

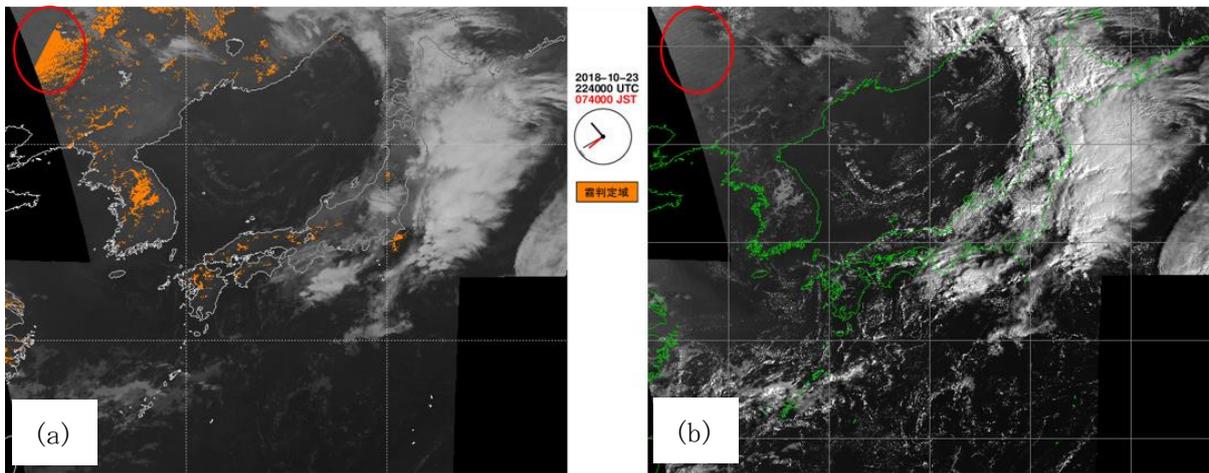


図9 霧監視プロダクトの誤検出事例（2018年10月23日2240UTC）
 (a)：霧プロダクト、(b)：太陽天頂角補正B03画像 ($R_{B03}/\cos(SZA)$)

の晴天が予想されている場合は、放射冷却による $nwpT_{surf}$ の低下とそれに伴う $nwpRH_{surf}$ の上昇により、数値予報データによる霧判別 ($nwpRH_{surf} \geq 85\%$ 等) の閾値も超えやすいと考えられる。このため、陸上においては日の出時間帯のほうが日の入り時間帯よりも誤検出の可能性が高くなると推察される。

6. 今後の開発計画

本プロダクトの改良へ向け、今後検討したい事項について記述する。

6.1. 人工知能(AI)の導入

既述のように、本プロダクトは衛星観測値および数値予報値を閾値として霧判定を行っているが、閾値の設定方法には個人の主観が含まれており、現状の設定が最適なものとは言えない。このため、機械学習による閾値設定の最適化を図りたい。現行の入力要素に加え、時間変化の情報、周辺格子の情報、地形情報といった要素も併せて考慮したい。機械学習の手法として例えば、周辺格子の観測値の空間的な情報を考慮する畳み込みニューラルネットワーク(e.g. Alzubaidi et al. 2021)や、観測値の時間変化の時系列の情報を考慮する LSTM(Long Short-Term Memory)(e.g. Van et al. 2020)などが考えられる。また、自身でAIモデルの設計に取り組むだけでなく、例えば、サポートベクターマシンにより雲域を判定する CLAUDIA3(Ishida et al. 2018)などを利用することも検討したい。

6.2. 最適雲解析(OCA)プロダクトの導入

Calvert and Pavolonis (2010)などでは、衛星観測から得た雲の物理特性を考慮して霧の厚さを算出する手法について述べている。気象庁では、雲物理量を求める最適雲解析(OCA)プロダクト(Hayashi 2018)を開発中であり、このプロダクトを利用して雲物理量も考慮することで精度向上できないか検討したい。OCAプロダクトには雲頂高度の情報が含まれているため、雲の厚さが算出できれば、雲底高度の推定も可能となり、より直接的に霧(雲底の接地)の判断ができる可能性がある。

6.3. 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。

7. まとめ

本報告では、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。

- 海上も含めた面的な霧域の把握ができる
- 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
- 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

第6節で述べたように、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

Alzubaidi, L., and Coauthors, 2021: Review of deep learning: Concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. *Journal of big Data*, 8(1), 1-74.

Bessho, K., and Coauthors, 2016: An introduction to Himawari-8/9 — Japan's New-Generation Geostationary Meteorological Satellites. *J. Meteor. Soc. Japan*, 94, 151-183.

Calvert, C., and M. Pavlonis, 2010: GOES-R Advanced Baseline Imager (ABI) algorithm theoretical basis document for low cloud and fog. NOAA NESDIS STAR, 78 pp, [available online at https://www.star.nesdis.noaa.gov/goesr/documents/ATBDs/Baseline/ATBD_GOES-R_Fog_v1.0_Sep2010.pdf] (Accessed 1 Sep 2022)

Ellrod, G. P., 1995: Advances in the detection and analysis of fog at night using GOES multispectral infrared imagery. *Wea. Forecasting*, 10, 606-619.

Hayashi, M., 2018: Introduction to the Computation Method for Cloud Radiative Processes and Its Application for the Advanced Himawari Imager onboard Himawari-8. Meteorological Satellite Center Technical Note, 63. (in Japanese with English abstract)

Ishida, H., and Coauthors, 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.

Ishida, H., Oishi, Y., Morita, K., Moriwaki, K., Nakajima, T.Y., 2018. Development of a support vector machine based cloud detection method for MODIS with the adjustability to various conditions. *Remote Sens. Environ.* 205, 390–407.

JMA, 2022: Outline of the Operational Numerical Weather Prediction at the Japan Meteorological Agency. JMA, 261 pp. [Available online at [https://www.jma.go.jp/jma/eng/jma-](https://www.jma.go.jp/jma/eng/jma-center/nwp/outline2022-nwp/index.htm)

[center/nwp/outline2022-nwp/index.htm](https://www.jma.go.jp/jma-center/nwp/outline2022-nwp/index.htm)] (Accessed 1 Sep 2022)

Shimizu, A., Saitou, K., Yamamoto, M., 2017: Image characteristics of the 16 bands of Himawari-8's AHI. Meteorological Satellite Center Technical Note, 62, 39-71. (in Japanese with English abstract)

Shimizu, A., 2020: Introduction to Himawari-8 RGB composite imagery. Meteorological Satellite Center Technical Note, 65.

Van Houdt, G., and Coauthors, 2020: A review on the long short-term memory model. *Artificial Intelligence Review*, 53(8), 5929-5955.

付録 本報告で使用する記号の意味

記号	意味
BXX	Himawari-8/9の観測バンドXX
R_{BXX}	BXXの反射率
T_{BXX}	BXXの輝度温度
SZA	太陽天頂角
$nwp T_{srf}$	地上気温の予報値
$nwp T_{700hPa}$	700hPa面の気温の予報値
$nwp RH_{srf}$	地上相対湿度の予報値
$nwp RH_{700hPa}$	700hPa面の相対湿度の予報値
$nwp RH_{max(700/850/925hPa)}$	700, 850, 925hPa面の相対湿度の予報値の最大値