

インドネシア気象気候地球物理庁向け客観雲解析情報  
**Objective Cloud Analysis Information**  
**for the Indonesian Meteorological, Climatological and Geophysical Agency**

泉 敏治\*      齋藤 幸太郎\*  
IZUMI Toshiharu      SAITOU Koutarou

**Abstract**

In November 2009, we began providing Objective Cloud Analysis Information to the Indonesian Meteorological, Climatological and Geophysical Agency (BMKG); the information is a new satellite product targeting the region around Indonesia. This product is composed of the following five elements: the cloud flag, the upper cloud flag, the convective cloud flag, the cloud type, and the cloud top height. The spatial resolution of this product is 0.05 degrees in both latitude and longitude, which is approximately the same as that of MTSAT infrared images.

Cloud flags and cloud types are determined based on the results of threshold tests conducted for each grid. Cloud top heights are estimated by comparing the IR1 brightness temperature with the brightness temperature profile calculated from numerical weather prediction data.

In most cases, deep convective clouds are detected in this product. In contrast, the edges of mid-level clouds are sometimes classified as cumulus and the methods for detecting lower level clouds at night sometimes do not work well enough.

**要 旨**

2009年11月、気象衛星センターでは、インドネシア周辺領域を対象とした衛星プロダクトの作成およびインドネシア気象気候地球物理庁への配信を開始した。このプロダクトは客観解析雲情報と呼ばれており、雲の有無、上層雲の有無、積乱雲の有無、雲型、雲頂高度の5つの要素から成る。各要素の空間分解能は東西方向・南北方向共に0.05度で、赤外面像約1画素に相当する。

雲の有無や雲型は、衛星データと格子毎の閾値との比較を通じて判定される。また、雲頂高度は赤外1チャンネルの輝度温度と数値予報のデータから放射計算により得られる鉛直温度分布を比較することにより計算される。

このプロダクトでは、発達した積乱雲は概ね検出されている。その一方で、中層雲を取り囲むように積雲が検出されることや、夜間には下層雲が検出されないことがある。

1. はじめに

気象衛星センターでは、衛星画像データおよび数

値予報のデータなどからインドネシア周辺領域の雲量、雲型、雲頂高度などの要素から成るプロダクトを開発した。

---

\*気象衛星センターデータ処理部解析課  
(2010年8月23日受領、2011年3月18日受理)

また、2009年11月には、そのプロダクトの毎時作成、およびインドネシア気象気候地球物理庁への配信を開始した。

本報告では、このプロダクト（インドネシア気象気候地球物理庁向け客観雲解析情報）の仕様、算出方法、および特徴を紹介する。

## 2. インドネシア気象気候地球物理庁向け客観雲解析情報の仕様

この章では、インドネシア気象気候地球物理庁向け客観雲解析情報の主な仕様について述べる。

### 2.1 算出領域・空間分解能

算出領域は、北緯10.0度と南緯15.0度の緯度線、東経90.0度と東経145.0度の経度線で囲まれる領域とした（図1）。

空間分解能は、緯度方向、経度方向共に0.05度で、格子数は緯度方向が501格子、経度方向が1101格子である。

### 2.2 使用データ

プロダクトの作成に使用するデータは、MTSATの赤外各チャンネル（以下、 $11\mu\text{m}$ 帯をIR1、 $12\mu\text{m}$ 帯をIR2、 $6.7\mu\text{m}$ 帯をWV、 $3.8\mu\text{m}$ 帯をIR4と表記する）の画像、可視チャンネル（以下VISと表記する）の画像、および数値予報データ（全球モデルの予報値のうち、指定気圧面の高度、気温、水蒸気質量混合比）である。

数値予報データは、大気鉛直情報として放射伝達計算に用いる。気温と湿度が等しい黒体を仮定し、

その黒体を衛星が観測した時に得られる輝度温度を高度ごとに放射伝達計算により導出し、輝度温度と高度との関係を定める。本プロダクトの算出には、このうちIR1のデータしか利用しないため、本稿では、以降、このIR1の輝度温度を便宜上、「数値予報の輝度温度」と呼ぶ。このデータは、観測データとの比較を通じて、雲の有無の判別や雲型判別、雲頂高度の算出に利用される。

なお、これらのデータと本プロダクトの空間分解能は一致しない。そのため、衛星データについては、直近画素のデータを利用し、数値予報の輝度温度データと高度データについては線形内挿を行い、本プロダクトの格子と一致するようにしている。

また、衛星画像データについては、計算対象時刻のデータのほか、過去10日間の同じ時刻のデータ、計算対象時刻の1時間前のデータも参照している。これらのデータは下層雲の検出に用いる。

### 2.3 算出要素

本プロダクトの算出要素は、雲の有無、雲型（上層雲、中層雲、積乱雲、曇天域、積雲、層積雲、層雲／霧）、上層雲の有無、積乱雲の有無、雲頂高度の計5種類である。

「雲の有無」の要素では、後述の雲検出処理で雲があると判断された格子を、「上層雲の有無」の要素では、雲型が上層雲または曇天域であると判断された格子を、「積乱雲の有無」の要素では、雲型が積乱雲と判断された格子を、それぞれ「有」とする。

図2～図7に、2010年12月27日03UTCのIR1の画像および本プロダクトの算出結果を示す。

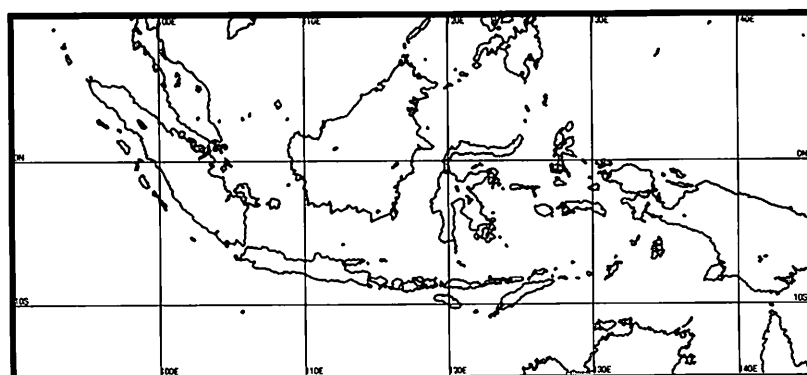


図1 インドネシア気象気候地球物理庁向け客観雲解析情報の算出領域

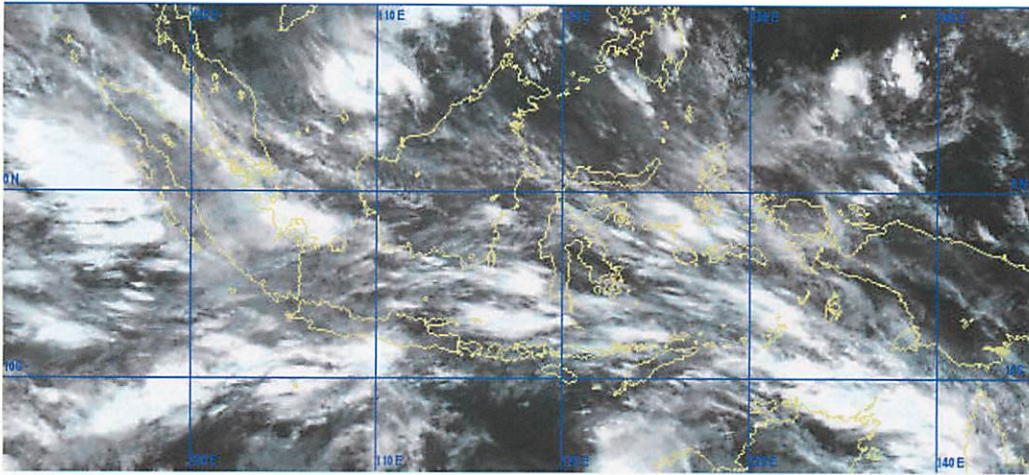


図2 2010年12月27日03UTCのIR1画像

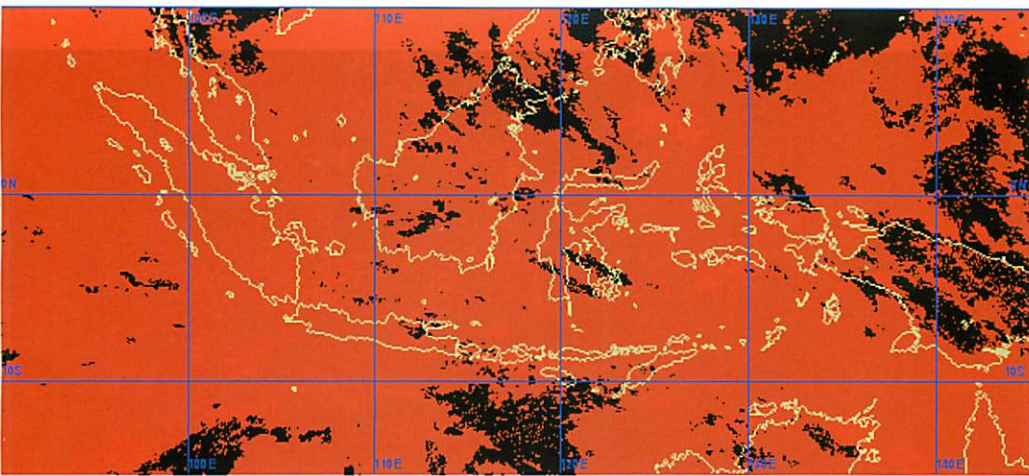


図3 2010年12月27日03UTCの雲の有無の算出結果

赤い部分は、雲があると判定された格子を表している。

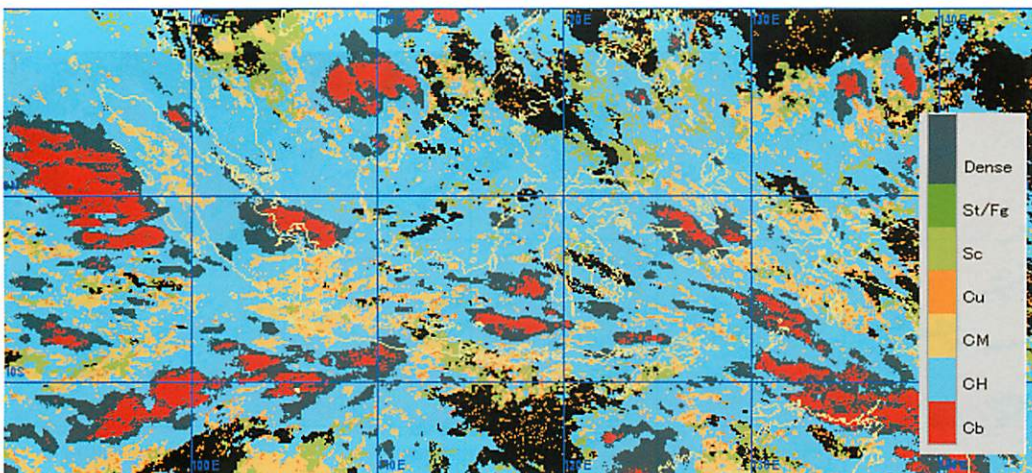


図4 2010年12月27日03UTCの雲型の算出結果

濃い紺色は曇天域 (Dense)、緑は層雲／霧 (St/Fg)、黄緑は層積雲 (Sc)、橙は積雲 (Cu)、薄い橙は中層雲 (CM)、水色は上層雲 (CH)、赤は積乱雲 (Cb)。

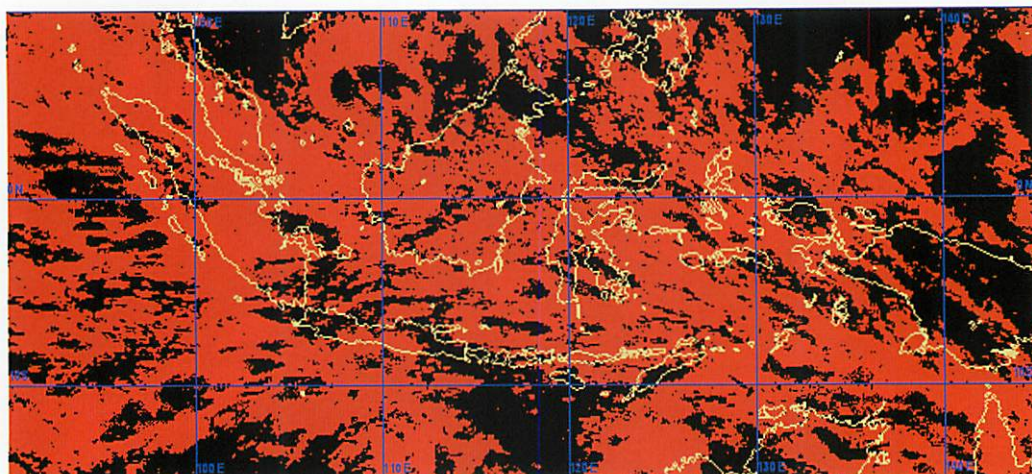


図5 2010年12月27日03UTCの上層雲の有無の算出結果

赤い部分は、雲型判別において、上層雲または曇天域と判定された格子を表している。

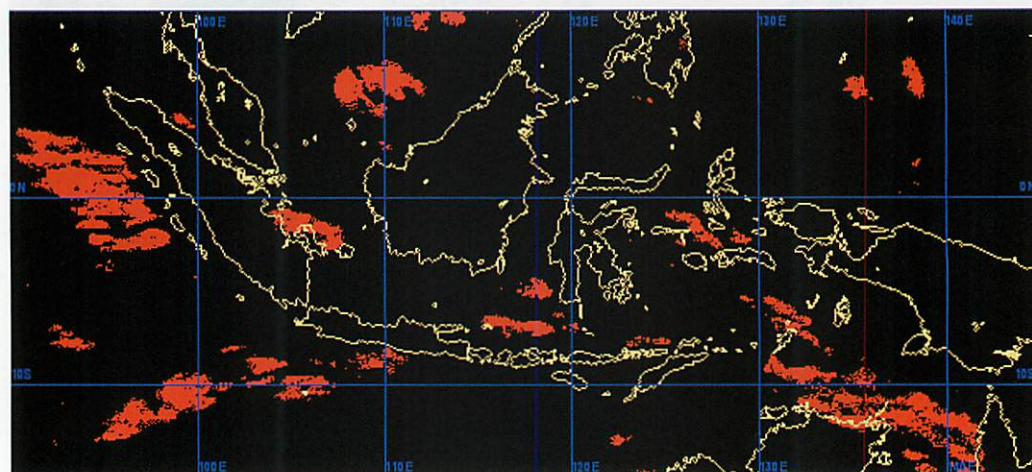


図6 2010年12月27日03UTCの積乱雲の有無の算出結果

赤い部分は、積乱雲があると判定された格子を表している。

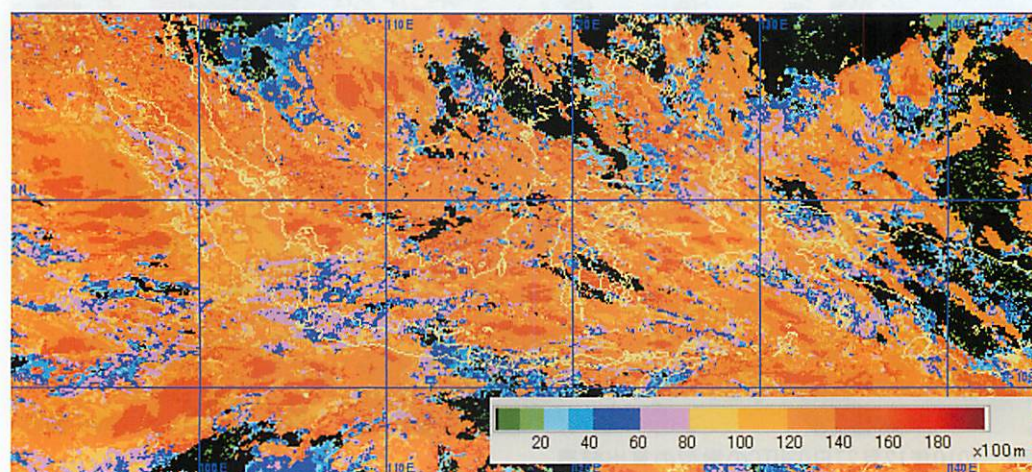


図7 2010年12月27日03UTCの雲頂高度の算出結果

### 3. 客観雲解析情報の作成手法

本プロダクト作成の過程は、雲検出処理、雲型解析処理、雲頂高度算出処理の3つに大別できる。

雲検出処理では、各格子における雲の有無の判定を行う。雲型解析処理では、各雲型の特徴を定量化した条件を利用して、各格子の雲型を判別する。雲頂高度算出処理では、IR1の輝度温度から各格子の雲頂高度を算出する。

この章では、これらの3つの処理の概要について述べる。

#### 3.1 雲検出処理

雲検出処理では、衛星画像データと数値予報の輝度温度を用いて、本プロダクトの格子点ごとに雲の有無の判別を行う。

はじめに、数値予報の地表の輝度温度などを基に格子点ごとの閾値を作成し、その閾値と観測されたIR1の輝度温度（以下、 $T(IR1)$ と表記する。他のチャンネルについても同様）を比較することにより、雲の検出を行っている。

この方法により、比較的雲頂の高い雲はほとんど検出されるが、 $T(IR1)$ が閾値より高い下層雲は検出されない。

そこで、VISやIR4のデータなどを利用した条件を補助的に設定し、下層雲の検出精度の向上を図っている。ただし、これらのデータは太陽放射の影響を受けるため、太陽天頂角によって異なる検出条件を設定した。

太陽天頂角75度未満の領域では、太陽放射の影響を考え<sup>(1)</sup>、VISのデータを利用する条件を設定した。太陽天頂角が90度以上の領域では、太陽放射の影響がないとしてIR4のデータを利用する条件を設定した。太陽天頂角が75度以上90度未満の場合は、太陽放射の影響が徐々に小さくなることを考慮し、太陽天頂角が75度未満の領域で用いる条件と90度以上の領域で用いる条件を同時に利用し、少なくとも一つの条件に合致した場合、雲があるとしている。

以下では、雲の検出条件を説明する。また、各条件で利用する定数の例を付録に示す。

##### (1) 比較的雲頂の高い雲の検出

太陽天頂角に関係なく、観測された $T(IR1)$ が閾値より低い場合、雲があると判断する。

$$(A) T(IR1) < T_{th\_clr(IR1)}$$

この閾値 $T_{th\_clr(IR1)}$ は、数値予報の地表の輝度温度に地域別の負の定数を加えたもので、雲がないときに観測されるであろう $T(IR1)$ の値よりやや小さい値である。地表の輝度温度そのものではなく、負の定数を加えて閾値としたのは、数値予報と実況の差に起因して、雲のない格子を雲として判別することを避けるためである。

この条件により、上層雲や中層雲はほとんど検出できる。また、下層雲もある程度検出可能である。

この条件で検出できなかった下層雲を検出するため、VISやIR4などのデータを利用する。

##### (2) 太陽天頂角75度未満の領域の下層雲検出

この領域の下層雲検出には、VISデータを利用している。ただし、サングリントの影響が大きい格子では、太陽放射の影響が少ない $T(IR1)$ と $T(IR2)$ の差を利用する方法も用いて下層雲を検出している。なお、サングリント角が40度以下の海上格子は、サングリントの影響が大きいとしている。

##### a. サングリントの影響が少ない領域での下層雲検出

VISの反射率（以下 $R(VIS)$ と表記する）が、雲がない時に想定される値より大きい格子を雲がある格子としている。

$$(B) R(VIS) > R_{th\_clr(VIS)}$$

ただし $R_{th\_clr(VIS)}$ は過去10日間の同時刻・同格子で $T(IR1)$ が最大のときの $R(VIS)$ に、太陽天頂角の影響を考慮した項とサングリントの影響を考慮した項と地域別の定数を加えたものである。この値は、雲がないときに観測されるであろう $R(VIS)$ である。しかし、10日間の観測でいずれも雲があった場合、 $T(IR1)$ が最大のときの $R(VIS)$ は大きくなり、 $R_{th\_clr(VIS)}$ も極端に大きくなる。これを避けるため、 $T(IR1)$ が最大のときの $R(VIS)$ が地域別の定数より大きい場合は、

その定数に置き換える。

#### b. サングリントの影響が大きい領域での下層雲検出

一方、サングリント角が 40 度以下の海上格子では、 $R(\text{VIS})$ や  $T(\text{IR}1)$ と  $T(\text{IR}2)$ の差から下層雲を検出している。

$$(C) R(\text{VIS}) > R_{\text{th\_clr\_sg}}(\text{VIS})$$

$$(D) T(\text{IR}1) - T(\text{IR}2) < T_{\text{th\_clr\_sea}}(\text{IR}1-\text{IR}2)$$

$R_{\text{th\_clr\_sg}}(\text{VIS})$ は、過去 10 日間の同時刻・同じ格子で  $T(\text{IR}1)$ が最大のときの  $R(\text{VIS})$ に、太陽天頂角の影響を考慮した項とサングリントの影響を考慮した項と地域別の定数を加えたものである。また、 $T_{\text{th\_clr\_sea}}(\text{IR}1-\text{IR}2)$ は、雲がない時の  $T(\text{IR}1) - T(\text{IR}2)$ の値をもとに経験的に決めた定数である。

#### (3) 太陽天頂角 90 度以上の領域の下層雲検出

太陽天頂角が 90 度以上の領域では、VIS データが利用できないため、IR4 のデータを利用した二つの条件で下層雲の検出を行っている。少なくとも一つの条件を満たした場合、下層雲があると判断する。

下層雲検出の一つ目の条件は、 $T(\text{IR}4)$ と  $T(\text{IR}1)$ の差に注目したものである。厚い水雲の雲頂の射出率は、IR4 の方が IR1 より小さくなることを利用し、 $T(\text{IR}4)$ と  $T(\text{IR}1)$ の差が地域別の定数  $T_{\text{th\_clr\_night}}(\text{IR}4-\text{IR}1)$ より小さい場合、雲があると判断する。

$$(E) T(\text{IR}4) - T(\text{IR}1) < T_{\text{th\_clr\_night}}(\text{IR}4-\text{IR}1)$$

なお、 $T_{\text{th\_clr\_night}}(\text{IR}4-\text{IR}1)$ は、雲がない時に観測されるであろう  $T(\text{IR}4)$ と  $T(\text{IR}1)$ の差である。

二つ目の条件は、海上の下層雲を検出するため、 $T(\text{IR}4) - T(\text{IR}1)$ の時間変化に注目したものである。海上で  $T(\text{IR}1)$ と  $T(\text{IR}2)$ の差が小さく、下層雲が存在する可能性がある格子において、 $T(\text{IR}4)$ と  $T(\text{IR}1)$ の差が 1 時間前の値に比べ著しく小さくなった場合、下層雲が流入または発生したものと判断し、雲があると判断している。

#### (F) 海上格子 かつ

$$T(\text{IR}1) - T(\text{IR}2) < T_{\text{th\_clr\_sea}}(\text{IR}1-\text{IR}2) \text{ かつ}$$

$$T(\text{IR}4) - T(\text{IR}1) \text{ の前 1 時間との差} < T_{\text{th\_clr\_dif}}(\text{IR}4-\text{IR}1)$$

なお、 $T_{\text{th\_clr\_sea}}(\text{IR}1-\text{IR}2)$ は(D)の条件で用いた定数であり、 $T_{\text{th\_clr\_dif}}(\text{IR}4-\text{IR}1)$ は経験的に決めた定数である。

#### (4) 太陽天頂角 75 度以上 90 度未満の領域の下層雲検出

太陽天頂角が 75 度以上 90 度未満の領域では、(2)で述べた条件と(3)で述べた条件をすべて利用し、これらの条件のうち、少なくとも一つ満足した場合は、雲があると判断する。

### 3.2 雲型解析処理

雲型解析処理では、雲検出処理で雲があると判定された格子の雲型を決定する。

はじめに、各雲型の特徴を定量化した条件を設定し、雲がある格子の観測データがそれらの条件を満たすかどうかを調べる。しかし、複数の雲型の条件を同時に満たす格子が存在し得るため、後述のフローに沿って最終的な雲型を決定する。

この節では、雲型の特徴を定量化した条件を中心に説明する。また、その条件に利用する定数などの例を付録に示す。

なお、日中と夜間で雲型判別結果に大きな違いがないよう、VIS を使わないこととした。

#### (1) 上層雲 (CH)

本プロダクトでは、雲頂高度が 400 hPa に相当する高度以上の雲を上層雲としている。そのため、 $T(\text{IR}1)$ が数値予報の 400 hPa の輝度温度以下であれば上層雲と判別する。

$$(G) T(\text{IR}1) \leq T_{400 \text{ hPa}}$$

$T_{400 \text{ hPa}}$ は数値予報の 400 hPa の輝度温度である。

しかし、上層雲が薄い場合は、その下方からの放射が上層雲を透過し、観測される  $T(\text{IR}1)$ は雲頂温度より高くなるため、(G)の条件による検出が困難な場合がある。

そのため、(A)の条件で雲があると判別された格子

を対象として、IR1、IR2 および WV の特性を利用して、二つの方法で薄い上層雲の検出を行う。

その方法の一つは、下方からの放射が薄い上層雲を透過するとき、IR2 の方が IR1 より減衰が大きいことを利用したものである。

(H)  $T(\text{IR1}) < T_{\text{th\_clr}(\text{IR1})}$  かつ

$$T(\text{IR1}) - T(\text{IR2}) > T_{\text{th\_thin\_CH}(\text{IR1-IR2})}$$

$T_{\text{th\_thin\_CH}(\text{IR1-IR2})}$  の値は、条件(A)の閾値  $T_{\text{th\_clr}(\text{IR1})}$  に応じて変化する値である。 $T_{\text{th\_clr}(\text{IR1})}$  が大きいときは、 $T_{\text{th\_thin\_CH}(\text{IR1-IR2})}$  の値も大きくなるようにしている。ここでは、上層雲を透過する放射は地表からのものという想定をしておき、また、同じ厚さの上層雲でも、地表の温度が高いほど  $T(\text{IR1}) - T(\text{IR2})$  の値が大きくなる<sup>(2)</sup>ことを想定して、 $T_{\text{th\_thin\_CH}(\text{IR1-IR2})}$  の値を決めている。

もう一つの上層雲検出方法は、薄い平板状の上層雲があると仮定した場合、衛星で観測される IR1 と WV の放射強度に相関関係がある<sup>(3)</sup>ことを利用したものである。

対象格子を中心とする  $5 \times 5$  格子の領域を設定し、その領域内の 25 格子のうち条件(A)を満たしたものを対象として、 $T(\text{IR1})$  と  $T(\text{WV})$  の相関係数  $CC_{\text{thin\_CH}(\text{IR1,WV})}$  と線形回帰式の傾き  $a_{\text{thin\_CH}(\text{IR1,WV})}$  を求める。これらの値と閾値  $CC_{\text{th\_thin\_CH}}$ 、 $a_{\text{th\_thin\_CH}}$  を比較することにより、薄い上層雲を検出する。

(I)  $T(\text{IR1}) < T_{\text{th\_clr}(\text{IR1})}$  かつ

$$CC_{\text{thin\_CH}(\text{IR1,WV})} > CC_{\text{th\_thin\_CH}}$$

$$a_{\text{thin\_CH}(\text{IR1,WV})} > a_{\text{th\_thin\_CH}}$$

ここで、 $CC_{\text{th\_thin\_CH}}$ 、 $a_{\text{th\_thin\_CH}}$  は、経験的に決めた定数である。

(G)、(H)、(I)のいずれか一つでも満足した場合、上層雲と判断する。

## (2) 積乱雲 (Cb)

本プロダクトでは、圏界面またはその上方まで発達した対流雲を積乱雲としている。積乱雲の検出には、圏界面付近にある雲頂からの放射特性と圏界面より上方の水蒸気量に着目した条件を用いている。

積乱雲の雲頂付近からの放射は、IR1、IR2、WV のいずれにおいても黒体放射に近く、また、圏界面より上方にはほとんど水蒸気が存在しないため、どの波長帯についても水蒸気による減衰が少ない。このため、これらの波長帯の輝度温度はいずれも近い値となる。

これを利用して、積乱雲の判定条件は(J)とした。

(J)  $T(\text{IR1}) - T(\text{IR2}) < T_{\text{th\_Cb}(\text{IR1-IR2})}$  かつ

$$T(\text{IR1}) - T(\text{WV}) < T_{\text{th\_Cb}(\text{IR1-WV})}$$

ここで、 $T_{\text{th\_Cb}(\text{IR1-IR2})}$ 、 $T_{\text{th\_Cb}(\text{IR1-WV})}$  は、0 に近い定数である。

また、圏界面より上空まで発達した雲は、 $T(\text{IR1}) - T(\text{WV})$  の値がかなり小さくなることがある。そのような格子を検出しやすくするよう、判定条件(J)と同様だが、 $T(\text{IR1}) - T(\text{WV})$  の閾値を小さく、 $T(\text{IR1}) - T(\text{IR2})$  の閾値を大きくした条件(K)を設定した。(K)を満たす場合も積乱雲とする。

(K)  $T(\text{IR1}) - T(\text{IR2}) < T_{\text{th\_Cb\_over}(\text{IR1-IR2})}$  かつ

$$T(\text{IR1}) - T(\text{WV}) < T_{\text{th\_Cb\_over}(\text{IR1-WV})}$$

ここで  $T_{\text{th\_Cb\_over}(\text{IR1-IR2})}$ 、 $T_{\text{th\_Cb\_over}(\text{IR1-WV})}$  は 0 に近い定数である。ただし、これらの値は、

$$T_{\text{th\_Cb}(\text{IR1-IR2})} \leq T_{\text{th\_Cb\_over}(\text{IR1-IR2})}$$

$$T_{\text{th\_Cb\_over}(\text{IR1-WV})} \leq T_{\text{th\_Cb}(\text{IR1-WV})}$$

となるように設定している。

また、4 つの閾値は、主観的な積乱雲の解析との相違が小さくなるように決めている。

## (3) 曇天域 (Dense cloud)

本プロダクトでは、上層雲があり、かつ厚い雲域を曇天域としている。

上層雲が存在することを数値予報の 400 hPa の輝度温度と  $T(\text{IR1})$  の比較から、厚い雲域であることを積乱雲判別方法と同様に  $T(\text{IR1})$  と  $T(\text{IR2})$  の差、 $T(\text{IR1})$  と  $T(\text{WV})$  の差の値から検出している。ただし、後者の条件では、積乱雲判別に用いた閾値より大きな値としている。

曇天域を検出する条件は以下の通りである。

$$(L) \quad T(IR1) < T_{400 \text{ hPa}} \text{ かつ}$$

$$T(IR1) - T(IR2) < T_{th\_Dense(IR1-IR2)} \text{ かつ}$$

$$T(IR1) - T(WV) < T_{th\_Dense(IR1-WV)}$$

ただし  $T_{th\_Dense(IR1-IR2)}$ 、 $T_{th\_Dense(IR1-WV)}$ は、以下の大小関係を満たすように設定している (図 8)。

$$T_{th\_Cb(IR1-IR2)} \leq T_{th\_Cb\_over(IR1-IR2)} \leq T_{th\_Dense(IR1-IR2)}$$

$$T_{th\_Cb\_over(IR1-WV)} \leq T_{th\_Cb(IR1-WV)} \leq T_{th\_Dense(IR1-WV)}$$

#### (4) 中層雲 (CM)

本プロダクトにおいては、雲頂高度が 400 hPa から 600 hPa の間の高度に相当する雲を中層雲としている。

中層雲の判定は、数値予報の 400 hPa と 600 hPa の輝度温度および  $T(IR1)$ を比較することにより行っている。

$$(M) \quad T_{400 \text{ hPa}} < T(IR1) < T_{600 \text{ hPa}}$$

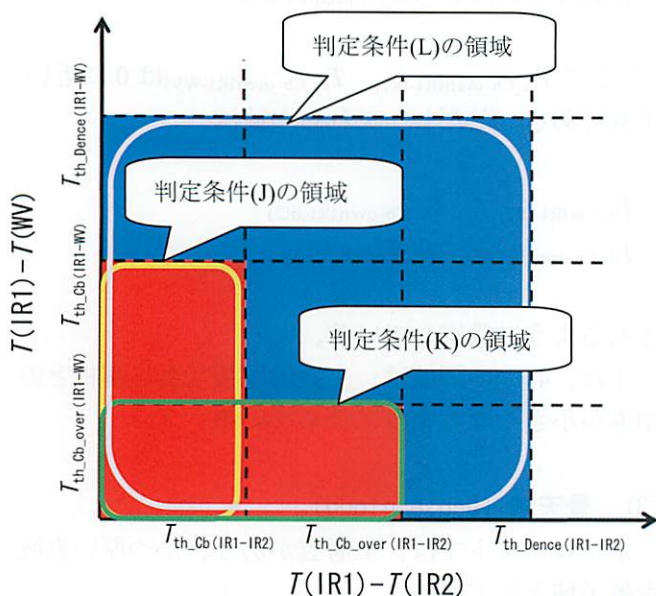


図 8 積乱雲と曇天域の判別に用いる  $T(IR1)$  と  $T(IR2)$  の差 (横軸) および  $T(IR1)$  と  $T(WV)$  の差 (縦軸) の条件を図示したもの

赤の領域であれば積乱雲、青の領域であれば曇天域とする。ただし、曇天域の判別条件には、 $T(IR1)$  が数値予報の 400 hPa の輝度温度より低いという条件が加わる。

#### (5) 下層雲 (積雲、層積雲、層雲/霧) (Cu、Sc、St/Fog)

雲頂高度が 600 hPa の高度以下の雲を下層雲として、その雲型を判別する。

下層雲の雲型判別は、雲の水平方向の広がり方や雲頂の凹凸の程度に着目し、それらを定量化して扱うことにより行っている。

対象格子を中心とした  $9 \times 9$  格子の領域を設定し、この 81 格子に占める下層雲の割合 ( $C_{low}$  とする) から雲の広がり方を定量化し、また、領域内における下層雲の  $T(IR4)$  の標準偏差 ( $\sigma_{low(IR4)}$  とする) から雲頂の凹凸の程度を定量化し、これらの値と閾値を比較することにより雲型の判別を行う。

##### a. 積雲 (Cu)

積雲には、他の下層雲の雲型と比べて雲域がまばらなことが多いことや雲頂の凹凸が比較的大きいことなどの特徴がある。

前者の特徴から、

$$(N) \quad T(IR1) \geq T_{600 \text{ hPa}} \text{ かつ}$$

$$C_{low} < C_{th\_Cu}$$

の場合に積雲と判断する。また、後者の特徴から

$$(O) \quad T(IR1) \geq T_{600 \text{ hPa}} \text{ かつ}$$

$$C_{low} \geq C_{th\_Cu} \text{ かつ}$$

$$\sigma_{low(IR4)} \geq \sigma_{th\_Cu(IR4)}$$

の場合も、積雲と判断している。

なお、 $C_{th\_Cu}$  と  $\sigma_{th\_Cu(IR4)}$  は主観的な解析と相違が少なくなるように経験的に決めた定数である。

##### b. 層雲/霧 (St/Fog)

層雲・霧は、雲頂が非常に滑らかで、地表付近に発生しやすいという特徴を持っていることを踏まえ、以下の条件により判別している。

$$(P) \quad \sigma_{low(IR4)} < \sigma_{th\_St(IR4)} \text{ かつ}$$

$$T(IR1) > T_{th\_clr(IR1)} \text{ かつ}$$

$$\text{海上格子であれば } T(IR1) - T(IR2) < T_{th\_St\_sea(IR1-IR2)}$$



ここで、 $\sigma_{th\_St(IR4)}$ と $T_{th\_St\_sea(IR1-IR2)}$ は経験的に決めた定数である。なお、 $\sigma_{th\_St(IR4)}$ は $\sigma_{th\_Cu(IR4)}$ を超えない値としている。

c. 層積雲 (Sc)

下層雲のうち、積雲とも層雲／霧とも判別されなかった格子を層積雲とする。

(6) 雲型の決定

(1)から(5)で述べた方法によって、それぞれの格子が各雲型の条件を満たすかどうかを調べた。しかし、格子によっては、複数の雲型の条件を同時に満たすことがある。そのため、最終的な雲型の決め方には一定の規則が必要である。

そこで、本プロダクトでは、図9に示すフローに沿って雲型を決定している。

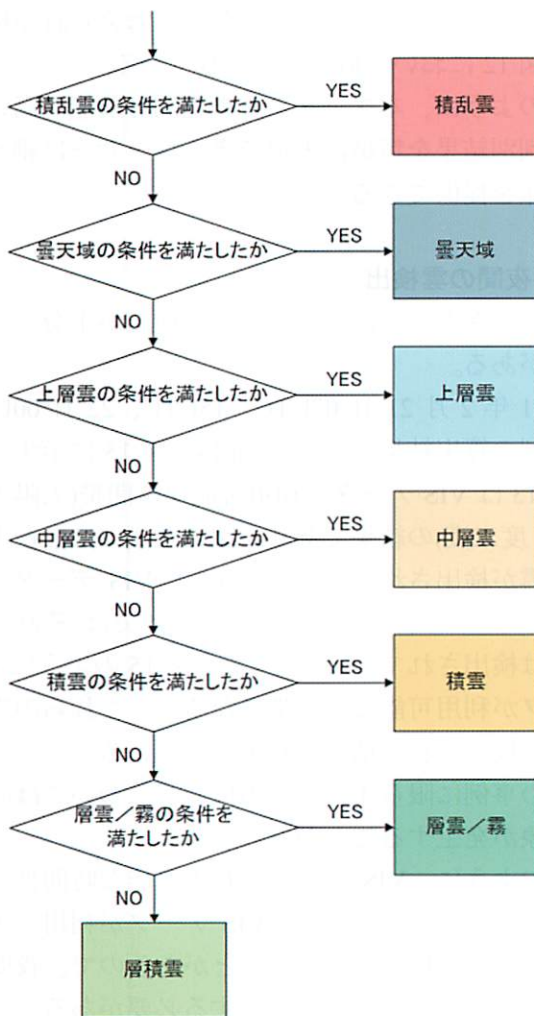


図9 雲型決定のフロー

3.3 雲頂高度算出処理

雲型解析処理に続いて雲頂高度算出処理が行われる。雲頂高度は、数値予報の輝度温度と $T(IR1)$ を比べることにより算出する。ただし、 $T(IR1)$ が数値予報の地表の輝度温度より高い場合は、雲頂高度をその格子の標高とし、雲頂高度が100mより低い場合は100mとする。また、 $T(IR1)$ が数値予報の圏界面の輝度温度より低い場合は、圏界面上空において一定の気温逓減率を仮定し、雲頂高度を求める。

なお、薄い上層雲に覆われている格子では、下方からの赤外放射の影響により、実際の上層雲の雲頂温度より高い輝度温度が観測される。このため、 $T(IR1)$ と $T(WV)$ の相関関係の条件(I)で薄い上層雲と判断された場合は、簡略化したIR-WVインターセプト補正法<sup>(1)</sup>を利用し、雲頂温度を推定した後に雲頂高度を求めている。

薄い上層雲の雲頂温度を推定するために、まず対象格子を中心とした5格子×5格子の領域における上層雲格子の $T(IR1)$ の最大値・最小値（それぞれ $T_{max}(IR1)$ 、 $T_{min}(IR1)$ とする）およびそのときの $T(WV)$ （それぞれ $T_{max}(WV)$ 、 $T_{min}(WV)$ とする）を求め、 $T(IR1)$ と $T(WV)$ をそれぞれ横軸と縦軸とする平面上にプロットする。この2点を通る直線の傾きを $a_{thin\_CH\_temp(IR1,WV)}$ とする。この値は

$$a_{thin\_CH\_temp(IR1,WV)} = (T_{max}(WV) - T_{min}(WV)) / (T_{max}(IR1) - T_{min}(IR1))$$

と表せる。

この直線上で $T(IR1)$ と $T(WV)$ が等しくなる点を上層雲の雲頂温度としている（図10）。すなわち、雲頂温度は $(T_{min}(WV) - a_{thin\_CH\_temp(IR1,WV)} \times T_{min}(IR1)) / (1 - a_{thin\_CH\_temp(IR1,WV)})$ となる。

この方法は、薄い上層雲のIR1とWVにおける射出率が概ね同じであるという想定に基づいたものである。求めた直線は、射出率の変化に伴う $T(IR1)$ と $T(WV)$ の変化を示している。 $T(IR1)$ と $T(WV)$ が等しい場合は、上層雲の射出率が1である状態を示しているため、求めた直線上で $T(IR1)$ と $T(WV)$ が等しい点を雲頂温度としている。

ただし、 $a_{thin\_CH\_temp(IR1,WV)}$ の値が0.5より大きい場合は、著しく低い温度を推定することがあるため、

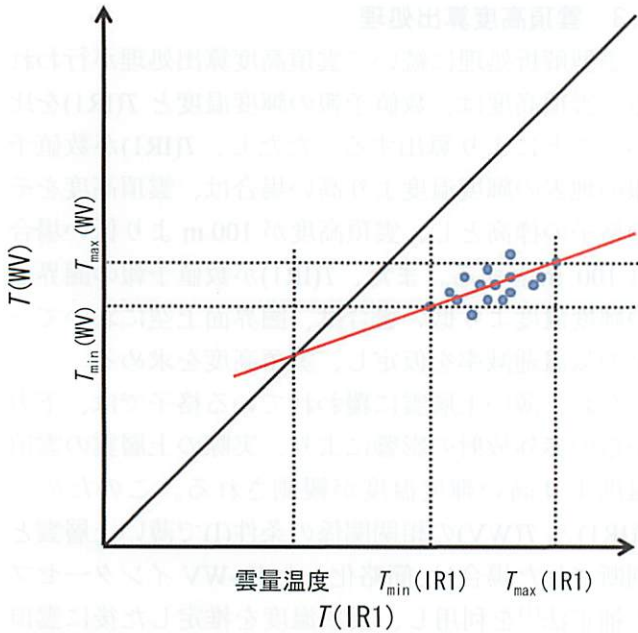


図10 薄い上層雲の雲頂温度計算手法の模式図

横軸は  $T(IR1)$ 、縦軸は  $T(WV)$ 。青い点は、小領域内の格子の輝度温度をプロットしたもの。点  $(T_{max}(IR1), T_{max}(WV))$  および点  $(T_{min}(IR1), T_{min}(WV))$  を通る直線（赤い実線）上で、 $T(IR1)=T(WV)$  となる点を求め、その  $T(IR1)$  の値を上層雲の雲頂温度とする。

点  $(T_{min}(IR1), T_{min}(WV))$  を通る傾き 0.5 の直線上で、 $T(IR1)$  と  $T(WV)$  が等しくなる点を上層雲の雲頂温度としている。すなわち、雲頂温度は  $2 \times T_{min}(WV) - T_{min}(IR1)$  となる。

#### 4. プロダクトの特徴

この章では、本プロダクトの特徴について述べる。ここでは、積乱雲判別の特徴、雲検出結果の特徴、積雲判別結果の特徴について述べる。

##### 4.1 細やかに検出される積乱雲

本プロダクトの最大のメリットは、高い空間分解能で積乱雲が検出できる点である。

図11に2011年1月7日12UTCのIR1画像を、図12に2011年1月7日12UTCのIR1画像に積乱雲の有無を重ねたものを示す。

図11において発達した積乱雲と考えられる格子は、図12において概ね検出されている。

このように、本プロダクトの空間分解能は高いため、判別結果を精緻に表現でき、ユーザーに細やかな情報を提供できる。

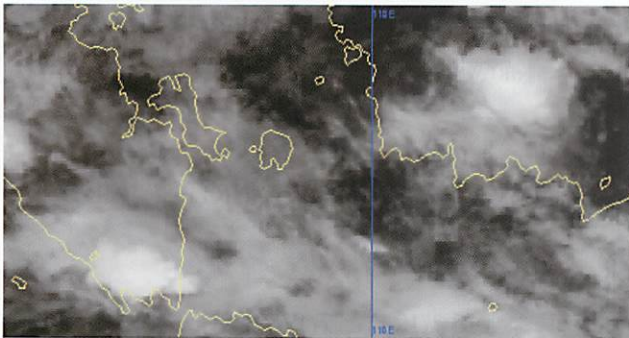


図11 2011年1月7日12UTCのIR1画像

##### 4.2 夜間の雲検出

本プロダクトでは、夜間の雲の検出が十分でないことがある。

2011年2月21日07UTC、15UTC、22日00UTCの雲型の算出結果を図13、図14、図15に示す。

図13はVISデータが利用可能な時間帯(太陽天頂角90度未満)の結果であり、図の南側には散在する下層雲が検出されている。しかし、VISデータが利用できない時間帯の結果である図14では、それらの雲域は検出されていない。また、図15のようにVISデータが利用可能な時間帯になると、これらの雲域は再び検出され、積雲と判定されている。

この事例に限らず、雲頂の低い雲については同様の現象が発生することがある。

このように、VISデータが利用可能な時間帯では検出される雲であっても、VISデータが利用できない時間帯では検出されないことがあるので、夜間のデータを使用する際に注意をする必要がある。

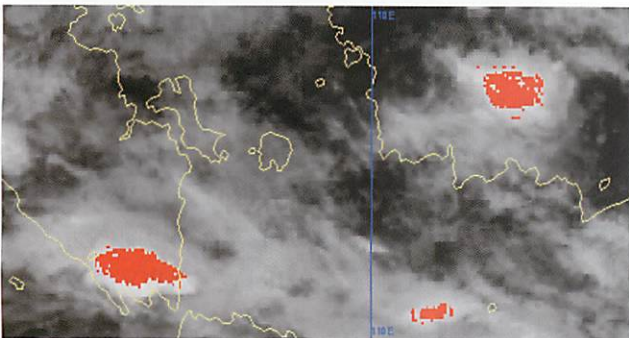


図12 2011年1月7日12UTCのIR1画像に積乱雲検出結果を重ねたもの

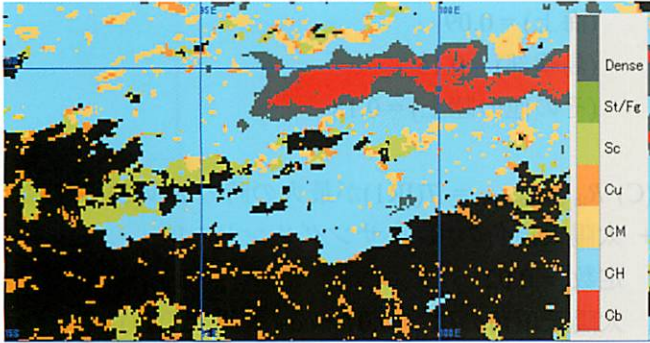


図13 2011年2月21日07UTCの雲型算出結果

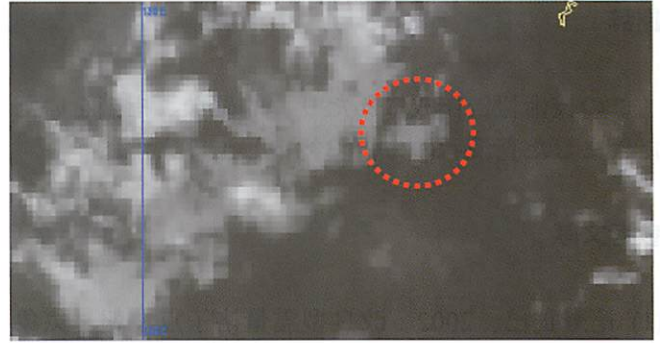


図16 2011年1月13日03UTCのIR1画像

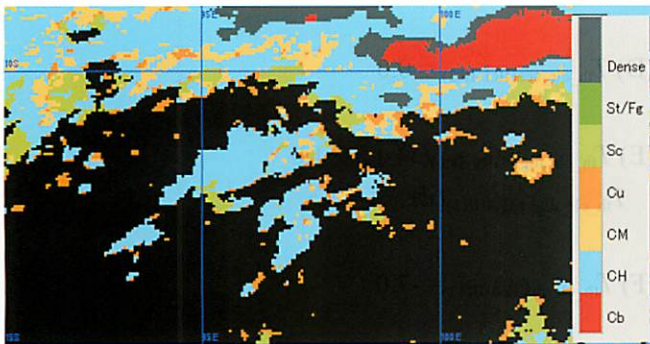


図14 2011年2月21日15UTCの雲型算出結果

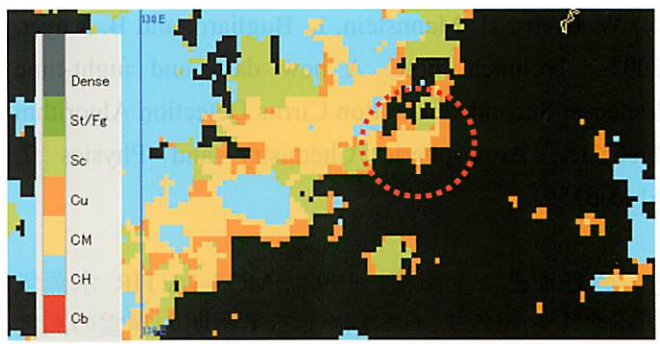


図17 2011年1月13日03UTCの雲型の判別結果

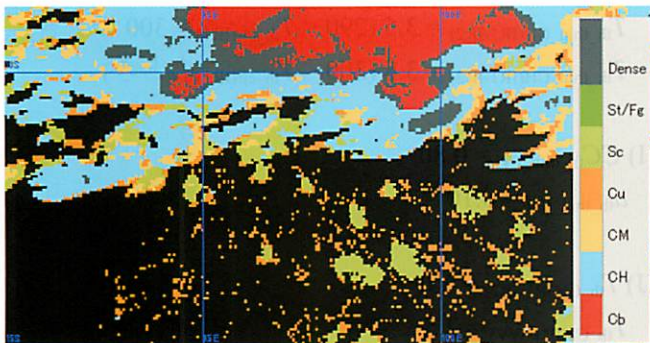


図15 2011年2月22日00UTCの雲型算出結果

#### 4.3 中層雲を囲むように検出される積雲

本プロダクトでは、中層雲を囲むように積雲が検出される場合がある。

図16および図17に、2011年1月13日03UTCのIR1画像と雲型の算出結果を示す。

図16の赤い点線の領域内には、灰色に見える雲域がある。図17では、その雲域のほとんどが中層雲として判別されており、その雲域を縁取るように積雲が検出されている。

これは、雲域の端の格子の $T(IR1)$ が他の部分の値に比べてやや高いことに起因していると考えられる。

$T(IR1)$  が数値予報の600 hPaの輝度温度より高い

場合は、(M)の条件を満たさないため中層雲と判定されず下層雲とみなされる。さらに、下層雲が密に存在する領域でない場合は(N)の条件により積雲と判断されるので、このような結果になると考えられる。

#### 5. まとめ

衛星観測データと数値予報データなどから算出される、インドネシア付近の領域の雲の有無、雲型、上層雲の有無、積乱雲の有無、雲頂高度の五つの要素から成るプロダクトを開発した。2009年11月から、このプロダクトの作成とインドネシア気象気候地球物理庁への配信を開始した。

雲の有無や雲型は、衛星画像データと格子別に設定した閾値との比較を通じて判定される。雲頂高度は $T(IR1)$ と数値予報の輝度温度を比較することにより計算される。

このプロダクトでは、発達した積乱雲については、概ね検出されている。その一方で、夜間の領域では下層雲が検出されないことや中層雲を縁取るように積雲が検出されることがある。

謝辞

この技術報告作成にあたり、的確なご指摘をいただきました査読者の方にお礼申し上げます。

参考文献

(1) 徳野正己、2002：改良型雲量格子点情報、気象衛星センター技術報告第40号、1-24.

(2) W. Krebs, H. Mannstein, L. Bugliaro, and B. Mayer, 2007：Technical note: A new day- and night-time Meteosat Second Generation Cirrus Detection Algorithm MeCiDA, Atmospheric Chemistry and Physics 7, 6145-6159.

(3) 徳野正己、土屋清、1990：MOS-1/VTIR 水蒸気チャンネルと赤外チャンネルによる半透明の巻雲の高度推定、日本リモートセンシング学会誌、Vol.10、No.2、25-39.

付録 閾値などに用いた定数の例

以下に、雲の検出や雲型判別に使用する定数の例を挙げる。ただし、実際の判別結果が主観解析の結果と近くなるよう、衛星ごとに閾値を決めていることに注意されたい。以下の値は、MTSAT-2用の値である。

(A)  $T_{th\_clr(IR1)}$  = 数値予報の地表の輝度温度 + 地域別の定数

地域別の定数(海上) = -5.0

地域別の定数(陸上) = -6.0

(B)  $R_{th\_clr(VIS)}$  =  $T(IR1)$ が最大の時の  $R(VIS)$  + 地域別の定数 + 太陽天頂角の項 + サングリントの項

地域別の定数(海上) = 0.01

地域別の定数(陸上) = 0.02

太陽天頂角の項 =  $0.07 * \cos(\text{太陽天頂角})$

サングリントの項 =  $0.40 * \exp\{-(\text{サングリント角})^2/40.0\}$

$T(IR1)$ が最大の時の  $R(VIS)$ の上限：

(海上) = 0.09

(島嶼部) = 0.15

(その他の陸上) = 0.18

(C)  $R_{th\_clr\_sg(VIS)}$  =  $T(IR1)$ が最大の時の  $R(VIS)$  + 定数 + 太陽天頂角の項 + サングリントの項

定数 = 0.02

太陽天頂角の項 =  $0.07 * \cos(\text{太陽天頂角})$

サングリントの項 =  $0.40 * \exp\{-(\text{サングリント角})^2/40.0\}$

(D)  $T_{th\_clr\_sea(IR1-IR2)}$  = 0.0

(E)  $T_{th\_clr\_night(IR4-IR1)}$ (陸上) = 1.0

$T_{th\_clr\_night(IR4-IR1)}$ (海上) = 1.5

(F)  $T_{th\_clr\_dif(IR4-IR1)}$  = -7.0

(H)  $T_{th\_thin\_CH(IR1-IR2)}$  = 2.5 ( $T_{th\_clr(IR1)} \leq 270$  のとき)

$T_{th\_thin\_CH(IR1-IR2)}$  = 3.0 ( $270 < T_{th\_clr(IR1)} \leq 290$  のとき)

$T_{th\_thin\_CH(IR1-IR2)}$  = 3.5 ( $290 < T_{th\_clr(IR1)} \leq 300$  のとき)

$T_{th\_thin\_CH(IR1-IR2)}$  = 3.8 ( $300 < T_{th\_clr(IR1)}$  のとき)

(I)  $CC_{th\_thin\_CH}$  = 0.80

$a_{th\_thin\_CH}$  = 0.10

(J)  $T_{th\_Cb(IR1-IR2)}$  = 1.0

$T_{th\_Cb(IR1-WV)}$  = 2.5

(K)  $T_{th\_Cb\_over(IR1-IR2)}$  = 2.0

$T_{th\_Cb\_over(IR1-WV)}$  = 1.0

(L)  $T_{th\_Dense(IR1-IR2)}$  = 2.5

$T_{th\_Dense(IR1-WV)}$  = 8.2

(N)  $C_{th\_Cu}$  = 0.4

(O)  $\sigma_{th\_Cu(IR4)}$  = 7.0

(P)  $\sigma_{th\_St(IR4)}$  = 1.0

$T_{th\_St\_sea(IR1-IR2)}$  = 0.0