

静止気象衛星 MTSAT 画像による日本を対象とした 晴天画像検索システムの構築

Development of a data search system for cloud-free MTSAT data over Japan

山田 洋平*・大吉 慶*・田村 正行*

Yohei YAMADA, Kei OYOSHI and Masayuki TAMURA

Abstract: Japanese geostationary meteorological satellite, Multi-functional Transport Satellite (MTSAT, Himawari-6) was launched in 2005. The sensor specifications of MTSAT have been improved compared to that of the previous Japanese geostationary satellite GMS-5. The sensor upgrade enabled us to utilize MTSAT data for terrestrial monitoring. High-frequency observation of MTSAT can detect hourly land-surface changes such as land surface temperature, snow cover, forest fire and so on. However, since optical sensor images are highly contaminated with clouds, we must find cloud-free images to observe land surface conditions. It is time-consuming and unrealistic task to find cloud-free images by visual interpretations, because MTSAT provides images at hourly intervals. In this study, we developed a data search system to find cloud-free images easily. This web-based system allows us to find cloud-free MTSAT images over Japan through the interactive GUI on the Web.

1. はじめに

Multi-functional Transport Satellite (MTSAT, 運輸多目的衛星新1号, ひまわり6号)は2005年6月28日に打ち上げられた日本の静止気象衛星であり, 気象観測を通じてアジア太平洋域各国の安心・安全な国民生活に大きく貢献している。MTSATにはひまわり5号の4つのチャンネル(可視, 赤外1~3)に加えて, 夜間における下層の霧・雲の判別に有効とされる新たなチャンネル(赤外4)が組み込まれたセンサが搭載されている(表1)。空間分解能も可視チャンネルでは1.25kmから1km, 赤外チャンネルでは5kmから4kmに向上し, 時間分解能は北半球では1時間から30分となった。さらに, 2014年に打ち上げが計画されている次期MTSATは, 可視3チャンネル, 赤外13チャンネルになり, 空間分解能は可視0.5km, 赤外2km, 時間分解能は10分と, 極軌道衛星並みに陸域観測機能を向上させた静止地球観測衛星として運用されることが検討されている(気象庁, 2008)。MTSATは極

軌道衛星に比べて時間分解能が高いことに加えて, このように空間分解能や波長分解能が向上したことで, これまでは観測することのできなかつた30分から1時間での地表面温度変化や積雪状態の変化, 森林火災域の変化等を観測することが期待できる。

しかし, 光学センサで地表面の反射や熱放射を観測する場合には, 地表面が雲に覆われていると地表面の情報が得られない。そこで, 観測対象領域の雲の有無を調べなければならないが, 高い時間分解能を持つMTSATはデータ量も膨大になり晴天画像を探すには大変な手間と時間を要する。そこで本研究では, 場所と時間を検索キーとして晴天画像を簡易かつ即時的にWeb上で検索できるシステムを構築することを目的とした。はじめに雲検出アルゴリズムを開発し, 気象庁統計データおよびMODIS Cloud Maskプログラク

表1 MTSATのセンサ特性

チャンネル	観測波長帯 (μm)	空間分解能 (km)
可視 (VIS)	0.55-0.90	1
赤外1 (IR1)	10.3-11.3	4
赤外2 (IR2)	11.5-12.5	4
赤外3 (IR3)	6.5-7.0	4
赤外4 (IR4)	3.5-4.0	4

*京都大学大学院工学研究科

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 48, NO. 6, 2009

トを用いた精度評価を行い、その後、雲データベースを構築し、最後に WWW を利用した晴天画像検索システムを実装した。

2. 雲検出手法

2.1 既存の雲検出アルゴリズム

衛星画像から雲を検出するには、雲が地表面に比べて反射率が高いことや、輝度温度が低いことを利用して、これらに閾値を設定するという手法が一般的である。奥ら (2003) は、GMS 画像からチベット高原の地表面温度を推定する際にデータのスクリーニングのために雲の検出を行った。この検出手法ではチベット高原の比較的狭い領域を対象としていたため、地上での地表面温度観測値を閾値とし、これより輝度温度の低い画素を雲とした。しかしながら、地表面温度を広範囲かつ面的に地上で観測するのは物理的に不可能であり、広域を対象とする場合に本手法を用いることはできない。Simpson *et al.* (1995) は、可視画像と赤外画像を用いて画像をクラスタに分割し、GOES 画像からの雲検出を行った。この手法はテクスチャ情報を利用することに加え、クラスタリングを行う際に収束計算を行うため計算負荷が大きい。本研究のように大量の画像を処理する場合には計算負荷の小さい手法が適している。さらに、昼間の画像のみを対象としているため、夜間の画像には使用できない。また、MODIS cloud mask プロダクトでは波長分解能の高さを生かし、可視と赤外合わせて20チャンネルを使用し、これらのチャンネルを組み合わせることで、高度や厚さの異なる雲に対してそれぞれに異なった閾値を設定して雲検出を行っている (Ackerman *et al.*, 2006)。しかし、MTSAT のチャンネル数は可視と赤外合わせて5チャンネルしかないため、この手法を用いることができない。

2.2 本研究で使用する雲検出アルゴリズム

本研究で対象とする MTSAT 画像は、観測時間や季節がそれぞれ異なり、範囲も広域に渡り、その数も膨大であるため、シーンごとに手動で閾値を設定するのは困難であり、また計算負荷の大きい手法も望ましくない。そこで、本研究ではシーンごとに自動で閾値を設定でき、比較的計算負荷の小さい Otsu (1979) による閾値決定方法を利用した。大津の方法は画像の濃

度のヒストグラムが双峰性であると仮定し、その谷の位置を自動で検出して二値化をするアルゴリズムである。以下の式(1)–(3)で示すクラス内分散 σ_w^2 とクラス間分散 σ_b^2 で定義される分離度 η が最大となる閾値 k を2つのクラスに分割する最適閾値とする。

$$\sigma_w^2 = \omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2 \quad (1)$$

$$\sigma_b^2 = \omega_0 (\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu_T)^2 \quad (2)$$

$$\eta(k) = \sigma_b^2 / \sigma_w^2 \quad (3)$$

ここで、 ω_0 および ω_1 、 μ_0 および μ_1 、 σ_0^2 および σ_1^2 はそれぞれのクラスの生起確率、平均値、分散を意味し、 μ_T は全体の平均値である。

本研究では昼夜を通じて安定した雲判別が可能な赤外1チャンネルを主として使用した。大津の方法の適用に当たっては、ヒストグラムが雲とそれ以外の双峰性になると仮定したが、実際の画像でヒストグラムを作成すると陸域、水域、雲域の3つのピークを有することが確認できた(図1)。そこで、USGS が作成した陸海マスクを利用して、陸域のみでヒストグラムを作成すると双峰性に近い分布となったため(図1)、陸上の雲のみを検出対象とした。

しかし、赤外1チャンネルでは温度の高い下層雲や、薄雲を判別するのが困難であることが確認できた。これらの雲については目視による判読の結果、昼間は可視チャンネル、夜間は温度の高い雲に感度の高い赤外4チャンネルが有効であることが確認できたため、赤外1チャンネルと併用することで検出を可能にした。なお、昼夜の判断は太陽天頂角により決定し、可視チャ

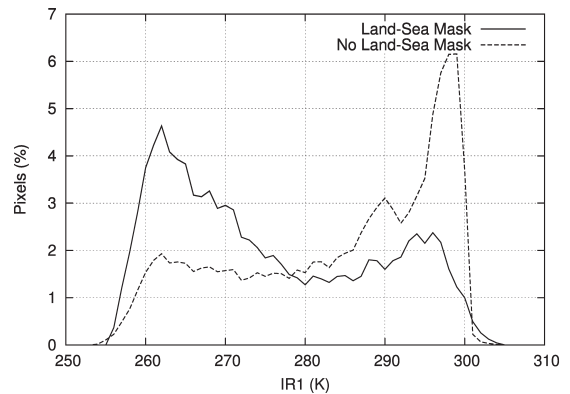


図1 2008年8月1日04:30における赤外1画像のヒストグラム

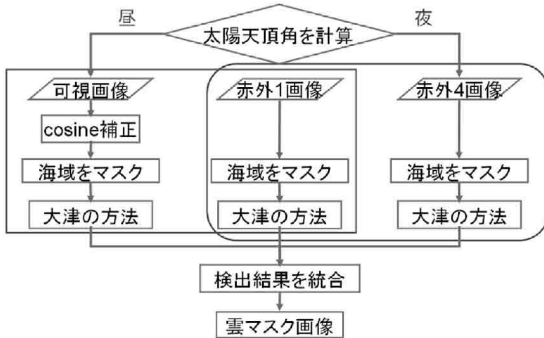


図2 本研究で提案する雲検出手法

ネルは太陽天頂角の影響を大きく受けるため、反射輝度を太陽天頂角の余弦で除する cosine 補正を適用した。以上をまとめると、本研究で使用する雲検出アルゴリズムは下記の通りであり、その概要を図2に示す。

1. 太陽天頂角を計算して昼夜を判断する
2. 昼ならば可視画像に cosine 補正を行う
3. 昼ならば可視画像と赤外1画像、夜ならば赤外1画像と赤外4画像の海域をマスク処理し、大津の方法を適用する
4. 各チャンネルのいずれかで雲と検出された画素を統合し、雲マスク画像とする

2.3 使用データ

本研究で使用した MTSAT データは東京大学生産技術研究所から取得した。可視チャンネルは反射率(%), 赤外チャンネルは輝度温度(K)に変換し、等緯度経度座標系に幾何補正を行った。対象範囲は検証データの入手可能性を考慮して、日本を中心とする北緯30-50度, 東経120-150度とした。

3. 雲検出結果の検証

3.1 気象庁統計データによる検証

はじめに、気象庁統計データを利用し、詳細な時間スケールでの雲検出の検証を行った。2007/06/01 0:30から06/03 21:30にかけて観測された70シーンの雲マスク画像を作成した。図3に雲マスク画像の例を示す。気象庁統計データは気象庁のウェブページで閲覧することができ^{*1}、全国の気象官署及び特別地域気象

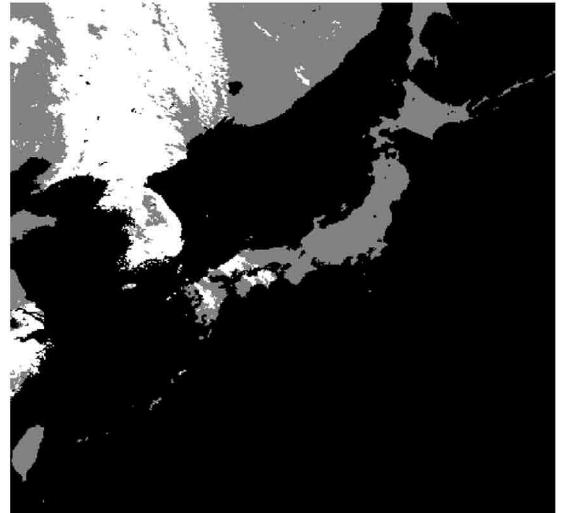


図3 2007年6月1日00:30における雲マスク画像(黒:水域, 灰:陸域, 白:雲域)

表2 MTSAT 雲マスク画像と気象庁統計データの比較(旭川市, 宮崎市, 京都市)

		気象庁		
		快晴, 晴	曇	User's Accuracy
M T S A T	晴	21	8	72.4%
	曇	1	24	96.0%
	Producer's Accuracy	95.5%	75.0%	83.3%

観測所で観測された雲量や天気などが記録されている。雲量とは雲に覆われた部分の全天空に対する見かけ上の割合のことであり、雲量が1以下なら天気は快晴, 2以上8以下なら晴, 9以上なら曇と定義している。日本列島の南北に広く分布するように旭川市(北緯43.77度, 東経142.34度), 京都市(北緯35.00度, 東経135.74度), 宮崎市(北緯31.94度, 東経131.41度)を対象とした。気象庁統計データは旭川市, 宮崎市は3時間ごとに, 京都市は6時間ごとに記録されていた。各気象観測所における雲量データと雲マスク画像の対応する画素を比較した結果を表2に示す。統計データとの一致率は全体で83.3%であったが, 25.0%は雲として検出できず過少検出の傾向が見られた。これは地上と衛星からの雲の見え方の違いや, MTSAT では検出できない下層雲, 薄雲の影響と考えられる。しかしながら, 全体としては気象庁による地上観測データと良く一致していたと言える。また, 表3で示した3時

^{*1}<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

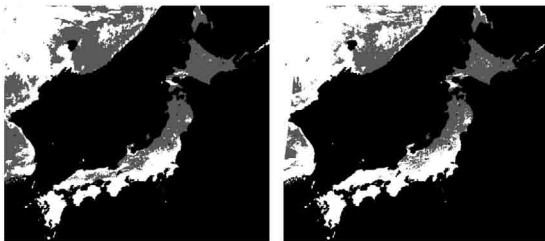
表3 旭川市における3時間ごとのMTSAT雲マスク画像と気象庁統計データの比較

UTC	MTSAT		気象庁	
	天気	天気	天気	雲量
6/2 12:30	晴	快晴		0
6/2 18:30	晴	晴		3
6/2 21:30	曇	曇		10
6/3 00:30	晴	快晴		0
6/3 03:30	晴	快晴		0
6/3 06:30	晴	快晴		1

間ごとの旭川市の結果を見ると、18:30では両者とも晴れているが、3時間後の21:30には曇になり、さらにその3時間後の00:30には再び晴れるという詳細な時間スケールでの変化も検出できていた。

3.2 MODIS Cloud Mask プロダクトによる検証

次に、NASAのウェブサイト*2よりダウンロードしたMODIS Cloud Mask プロダクトを利用し、空間的な検証を行った。MODIS Cloud Mask プロダクトはclear (99%晴)、probably clear (95%晴)、uncertain (66%晴)、cloudyで雲の有無を評価しているが(Ackerman *et al.*, 2006)、検証の際にはcloudyのみを雲とした。これは、clearやprobably clearは確率的に晴とするのが妥当であり、uncertainは晴の確率が66%であるという点と、MODISで明確に検出できない雲は空間・波長分解能が劣るMTSATでは検出困難であるという点を考慮して晴としたためである。図4(a)、(b)はMTSATから作成した雲マスク画像(2007/07/07 01:30)と同時刻のMODIS Cloud Mask プロダクトのcloudyのみを雲とした画像である。MODIS Cloud Mask プロダクトは空間分解能が



(a) MTSAT : 01 : 30 (b) MODIS : 01 : 30

図4 2007年7月7日における雲マスク画像(黒:水域, 灰:陸域, 白:雲域)

表4 MTSAT雲マスク画像とMODIS Cloud Mask プロダクトの比較

		MODIS		
		晴 (pixels)	曇	User's Accuracy
M T S A T	晴	27390	16591	62.3%
	曇	2439	48745	95.2%
	Producer's Accuracy	91.8%	74.6%	80.0%

1 kmであるため4 kmに変換して検証に用いた。変換する際には、16画素中9画素以上が雲に覆われている場合を雲とした。表4はMODIS Cloud Mask プロダクトとの検証結果を示している。一致率は全体で80.0%であったが、MTSATでは雲として検出できていない画素が25.4%あり、雲域を過小評価する傾向が見られた。他時期についても検証を行ったところ、一致率は同程度であったが、同様に雲を過小評価する傾向がみられた。特に雲の端の薄雲の領域を検出できていないことが顕著であった。このような過小評価の原因としては、MODISの方が空間分解能と波長分解能が高いためにMTSATでは検出できないような薄雲や、小さい雲を検出できることが考えられる。

このように、提案手法は気象庁統計データによる時間的検証とMODISプロダクトによる空間的検証のどちらにおいても8割程度の雲検出精度が確認でき、十分実用に堪えうる精度であると判断できる。しかしながら、これらは夏期の昼間の画像を対象とした結果であり、地表面と雲とで輝度温度差が大きい場合のものである。冬季の高緯度地方では積雪の影響により地表面温度が低く、雲とほぼ同じ輝度温度となるため誤検出が多く発生し、このような精度は期待することができない。また、夏期においても、画像全体が雲に覆われているとヒストグラムが双峰性にならず精度が低下する。このような問題を克服するためには今後アルゴリズムの改良が必要である。

4. 雲データベースの構築およびWWWを利用した検索システムの実装

4.1 雲データベースの構築

雲データベースはMTSATデータを利用して広域の陸域環境観測を行うユーザーを主として対象とし、

*2 <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>

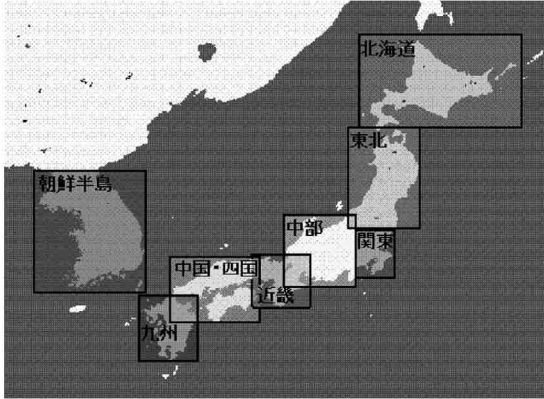


図5 雲量計算のために定義した8つの領域（北海道，東北，関東，中部，近畿，中国・四国，九州，朝鮮半島）

観測対象地域の晴天画像を収集する際に，晴天画像の撮影日時をリストを容易に取得できることを念頭において作成した。雲データベースは雲マスク画像と雲量リストにより構成される。提案した雲検出手法を適用して雲マスク画像を作成し，図5に示す8つの領域ごとに雲量を計算して雲量リストを作成した。

雲量は作成した雲マスク画像について，次式により求めた。

$$\text{雲量 (\%)} = \frac{\text{領域内の陸上の雲の画素数}}{\text{領域内の陸の画素数}} \times 100 \quad (4)$$

雲量リストは領域ごとにテキストファイルで作成し，各行には画像の撮影日時，雲量が記されている。この雲量リストを利用して晴天画像の検索を行う。

4.2 ウェブサイトの実装

雲データベースから晴天画像をWWW上で検索できるようにするために，HTMLとwebプログラミング言語であるPHPを用いて検索用のウェブサイトを実装した。本ウェブサイトは，<http://eiserv.uee.kyoto-u.ac.jp/MTSAT/CLOUD/index.php> で公開している。トップページには図6(a)に示す検索条件の入力欄を設けている。エリア選択用のボックスで対象とするエリアを選択した後に，検索対象とする雲量を指定する。ここでは，最小雲量と最大雲量が指定でき，雲量が何%以下なら晴とするかを任意で設定できる。次に検索対象期間を設定するが，期間の起点日と終点日のみを設定する方法と，日指定に加え時間帯も指定できる方法とがある。後者の設定方法では，特定の時間帯における晴天画像の検索が可能である。最後に送信ボタンをクリックすると条件に適合するデータを検索

し，即座にその結果をウェブ上にリスト形式と画像形式で表示する。リスト表示では条件に適合した画像の撮影日時とその雲量を表示し(図6(b))，画像表示では撮影日時と雲量に加えて同時刻の雲マスク画像(cloud)，可視画像(VIS)，赤外1画像(IR1)が表示され，雲分布が視覚的に確認できる(図6(c))。

本システムにより，任意の時間とあらかじめ定めた領域における晴天画像を即座に検索することができ，効率的にMTSATデータによる陸域観測を行うことが可能となる。また，本システムは1時間ごとの雲の有無を簡易に調べることができるため，MTSATのみならず他衛星データの観測時間帯を検索条件とすることで，他衛星データの晴天画像を検索する際にも有用である。さらに，本研究で構築した雲データベースを利用して晴天画像が取得できる頻度を場所や時間ごとに計算できるため，光学センサによる陸域の可視性の総合的な評価にも使用できると考えている。

5. おわりに

本研究では，MTSAT画像から大津の方法を基とした雲検出手法を開発した。検出結果を気象庁統計データおよびMODIS Cloud Maskプロダクトで検証したところそれぞれ83.3%，80.0%の精度であった。提案手法により雲マスク画像を作成して雲量を計算し，雲データベースを構築した。さらに，PHPとHTMLを利用してウェブサイトを実装し，MTSATの晴天画像を簡易かつ即時的に検索できるシステムを構築した。これによりあらかじめ定めた領域の1時間ごとの雲量が検索でき，効率的に晴天画像を収集することが期待できる。

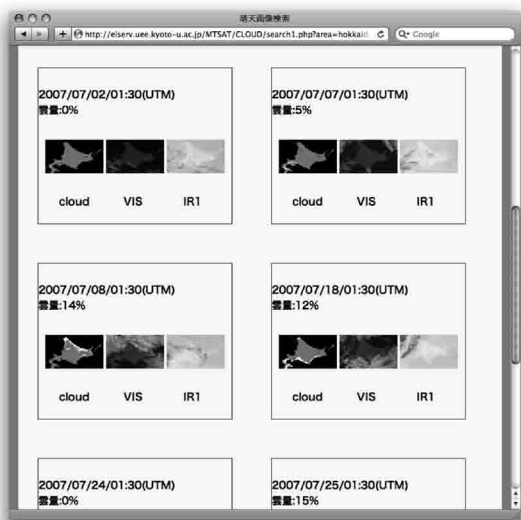
しかし，下層雲や薄雲，積雪が存在する場合には雲検出精度が低下することが確認できたため，今後は雲検出アルゴリズムの改良を行い雲検出精度を高める必要がある。これには静止気象衛星の高い時間分解能を生かし，画素ごとの反射や放射の時系列的变化を利用した手法を検討する予定である。また，本研究では日本と朝鮮半島のみを対象としているが，アルゴリズム改良を行った後に，MTSATの全観測範囲へシステムを拡張したいと考えている。



(a) 検索条件の入力



(b) リスト形式の検索結果



(c) 画像形式の検索結果

図6 WWW上に構築した晴天画像検索システムのGUI (<http://eiserv.uee.kyoto-u.ac.jp/MTSAT/CLOUD/index.php>)

謝 辞

本研究は文部科学省によるグローバルCOEプログラム「アジア・メガシティの人間安全保障工学拠点」(代表: 松岡 譲 京都大学教授)の一環として行われたものである。また、本研究で使用したMTSATデータは東京大学地震研究所で受信され、東京大学生産技術研究所、沢田・竹内研究室でアーカイブされているデー

タを提供して頂いた。ここで改めて関係各位に深謝する。

(受付日2009.7.8, 受理日2009.11.13)

参考文献

- [1] 奥勇一郎, 石川裕彦, 2003, 気象衛星ひまわりを用いたチベット高原上の地表面温度の算出, 京都大学防災研究所年報, 46, pp.561-573.
- [2] 気象庁, 2008, 静止気象衛星に関する懇談会 中

間とりまとめ 次期静止気象衛星の整備・運用のあり方に関する提言.

- [3] Ackerman, S., Strabala, K., Menzel, P., Frey, R., Moeller, C., Gumley, L., Baum, B., Seemann, S.W. and Zhang, H., 2006, Discriminating clear-sky from cloud with MODIS algorithm theoretical basis document, pp.1-24.
- [4] Otsu, N., 1979, A Threshold selection method from gray-level histograms, IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics, 9(1), pp.62-66.
- [5] Simpson, J.J. and Gobat, J.I., 1995, Improved cloud detection in GOES scenes over land, Remote Sensing of Environment, 52, pp.36-54.