

研究種目：若手研究(B)  
研究期間：2008～2009  
課題番号：20710004  
研究課題名（和文）：静止軌道衛星による広域アジアの雲性状環境の実時間監視と動態解明  
研究課題名（英文）：Real time measurement and analysis of cloud environment over the Asia by using geostationary satellites

## 研究代表者

奥 勇一郎 (OKU YUICHIRO)  
京都大学・防災研究所・特定研究員  
研究者番号：10456832

## 研究成果の概要（和文）：

気象衛星ひまわり6号(MTSAT-1R)の中間赤外データから雲粒の大きさの指標となる3.7ミクロン帯雲反射率および雲粒有効半径を算出する手法を確立した。中間赤外データは従前のひまわりシリーズにはなく6号から新たに搭載されたセンサである。算出された雲粒有効半径の値を、周回軌道衛星 Terra および Aqua に搭載されている高波長分解能・高空間解像度のセンサ MODIS から得られる雲粒有効半径と比較したところ、妥当なものであることが確認できた。

## 研究成果の概要（英文）：

The algorithm used to retrieve the cloud effective particle radius from the 3.7m band was adapted to the corresponding channel of the Japanese Advanced Meteorological Imager (JAMI) own onboard the Multi-functional Transport Satellite (MTSAT) geostationary platform. Snapshot comparisons with spatially well resolved retrievals from the MODerate resolution Imaging Spectrometer (MODIS) instruments own on the Terra polar platforms show qualitative agreement with MTSAT retrievals. The results of analyzing daytime variation across from the Eastern Asia to the north the Northwest Pacific Ocean show that not only the effective particle radius is smaller in continental clouds than maritime clouds but also daytime amplitude of the effective particle radius is greater in continental clouds than maritime clouds in which the effective particle radius value is approximately constant.

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境計測，リモートセンシング，衛星気象学

### 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化の予測のためには、大気中のエアロゾルによる放射強制力を評価することが重要である。エアロゾルの気候に対する影響として、雲の凝結核として働くエアロゾル数の変化により、雲粒径が変化する第一間接効果がある。この間接効果は IPCC の報告書等である程度見積もれるようになってきたが、まだ誤差の範囲が大きい。一方、3.7 ミクロン帯の雲反射率は雲粒径に大きく影響することがすでにわかっている。衛星リモートセンシングによる雲反射率の算出およびその大気への影響評価は、周回軌道衛星である NOAA や TRMM のデータを用いての開発がなされてきた。一方、アジアでは、メガシティの大気汚染や焼き畑に伴う大規模火災の影響で人為起源エアロゾルの発生量が著しく増大しており、その環境への影響が懸念されている。

### 2. 研究の目的

本研究では、日本の静止軌道衛星 運輸多目的衛星新 1 号（ひまわり 6 号、MTSAT-1R、東経 140 度に静止）および中国の風雲 2-C 号（FY2-C、東経 105 度に静止）を用いて 3.7 ミクロン帯雲反射率を算出し、エアロゾルの大気環境に及ぼす影響を準実時間で評価し、大気汚染に伴う人為起源エアロゾルや大規模火山噴火等による自然起源エアロゾルの雲性状への影響を明らかにする。MTSAT-1R および FY2-C のデータから 3.7 ミクロン帯雲反射率の算出手法の開発を第一目標とし、算出方法の確立後、得られたプロダクトを用いて大気汚染に伴うエアロゾルの雲性状へ及ぼす長期的な影響に関する研究を進める。

### 3. 研究の方法

3.7 ミクロン帯は、11 ミクロン帯や 12 ミクロン帯の波長領域と同様に大気による吸収が弱い窓領域であるため、大気の影響を受けずに地球表面からの放射を測定することができる。3.7 ミクロン帯が観測している波長領域は、放射スペクトルにおける地球放射と太陽放射の裾野の部分に相当し、わずかながら両者が重なる波長領域である。このため、日中は太陽光の反射と物体からの放射を、夜間は物体からの放射のみを観測する。つまり、日中のデータは可視画像と赤外画像の特徴を併せ持ち、夜間のデータは赤外画像だけの特徴を持つことになる。ここで、雲頂からの放射を黒体放射とみなすことができるような光学的に厚い雲を想定し、衛星に到達する放射輝度を考える。先行研究により、光学的厚さが 10 以上の雲であれば雲の 3.7 ミクロン帯における透過率は 0 とみなすことができるので、3.7 ミクロン帯雲反射率  $\rho_{3.7}$  は、3.7 ミクロン帯放射輝度  $L_{3.7}$  を用いて次式で与

えることができる。

$$\rho_{3.7} = \frac{L_{3.7} - t'_{3.7} B_{3.7}(T)}{(t_{3.7}^0 F_0 \mu_0 / \pi) - t'_{3.7} B_{3.7}(T)}$$

$B$  はプランクの関数、 $T$  は 11 ミクロン帯輝度温度で得られる雲頂温度、その他は定数として扱う。光学的に厚い雲であれば、雲粒有効半径（雲粒の粒径分布の重み付け平均に相当）は 3.7 ミクロン帯雲反射率  $\rho_{3.7}$  から推定できる。一方、周回軌道衛星 NOAA と MTSAT-1R の 3.7 ミクロン帯の中間赤外センサは、感度帯域が類似しているため、NOAA のデータをもとに開発された 3.7 ミクロン帯雲反射率の算出手法をそのまま MTSAT-1R に適用すると図 1 のような結果が得られる。図 1 は中国・上海付近における 3.7 ミクロン帯雲反射率から見積もった 1 時間毎の雲粒有効半径の分布である。陸上では大陸性気団に伴う小さい雲粒半径の雲が分布しており、海上では海洋性気団に伴う大きな雲粒半径の雲が分布している様子がみとれ、MTSAT-1R を用いて算出された雲粒有効半径が定性的に実現象と矛盾していないことがわかる。

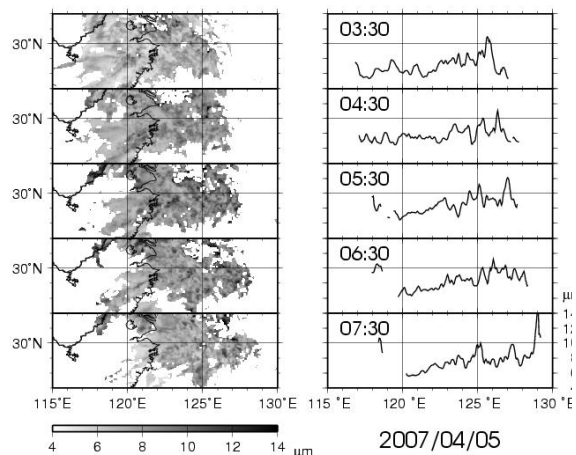


図 1 NOAA による算出手法を MTSAT-1R にそのまま適用したときの雲粒有効半径の水平分布（左）と北緯 30 度における東西分布（右）。

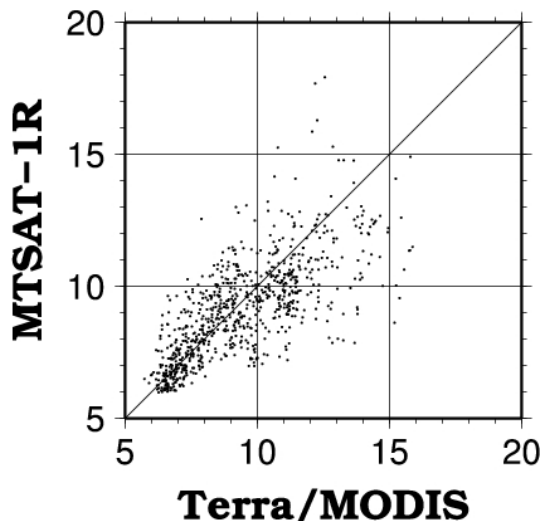


図2 MTSAT-1R と Terra/MODIS により求められた雲粒有効半径の比較. 単位はミクロン.

#### 4. 研究成果

図2は MTSAT-1R で算出した雲粒有効半径を周回軌道衛星 Terra 搭載の高解像度センサ MODIS から得られた高次プロダクト MOD06 の雲粒有効半径と比較した散布図である. MOD06 の雲粒有効半径データは 1km 間隔であるので, MTSAT-1R との比較を行う際は緯度経度 0.05 度間隔で空間平均した値を用いた. また, 観測時刻の差に起因する誤差を排除するために, 両衛星による観測時刻差が 60 秒以内のデータを比較対象とした. 対象となったサンプル数は 2,075, 両者の相関係数は 0.721, RMSE は 1.66 ミクロンであった. 図2を差のヒストグラムで比較したのが図3である. これによると, MTSAT-1R の値が MODIS のそれよりも過大評価している頻度が過小評価している頻度に比べて若干多い. MODIS の場合, MTSAT-1R には搭載されていない様々な波長帯センサによる観測から得られる温度や水蒸気の鉛直プロファイルを用いて大気の透過率等を計算することができるため, より詳細な算出過程を経て正確な雲粒有効半径を求めることができる. また, 両センサ間における空間分解能の違いも差の原因のひとつと考えられる. しかし, 両者を比較して著しいバイアスは認められないことから, MTSAT-1R で求めた雲粒有効半径はおおむね妥当な値であると言える.

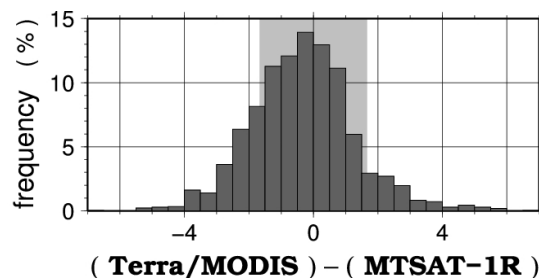


図3 MTSAT-1R と Terra/MODIS により求められた雲粒有効半径の差の頻度分布. 単位はミクロン.

図4は, 2007年6月24日から1ヶ月平均した北緯33度における雲反射率(上から2段目)および雲粒有効半径(同3段目)の経度-ローカル時間断面図である. 斜線部は日の出前あるいは日の入後のため, 雲反射率や雲粒有効半径が算出されなかった領域である. 参考までに, 雲の存在頻度の指標として 11 ミクロン帯の輝度温度の経度-ローカル時間断面図(最上段)と北緯33度における海陸分布(最下段)を示す. 図5は, 図4と同期間の NCEP 再解析データから求めた 500hPa 気圧面における高度(コンター), 水蒸気(シェード), 風(ベクトル)の分布である. 一般に, 大陸性の大気と海洋性の大気ではエアロゾルの数濃度や種類が異なるため, 大陸上の雲反射率は海洋上より大きくなり, 大陸上の雲粒有効半径は海洋上より小さくなる. 雲反射率や雲粒有効半径を日平均値(すなわち, 図4において縦軸方向に平均した値)で見ると, 雲反射率は東経130度のあたりを境に大陸側では大きく海洋側では小さく, 雲粒有効半径は大陸側で小さく海洋側で大きくなっている. しかし, 図4のように日変化を比較すると, 東経130度より大陸側では午後になると海洋側と同じくらい雲反射率は小さくなっている. また, 雲粒有効半径は大きくなっている. さらに, 日中における変化量に着目すると, 海洋側の変化量は大陸側の変化量よりも小さく, ほぼ一定であることがわかる. 夜間のデータが無いので, 大陸側で顕著な日変化がみられるとは言えないものの, 日中に限っては海洋側より陸上側の方が振幅が大きくなっている.

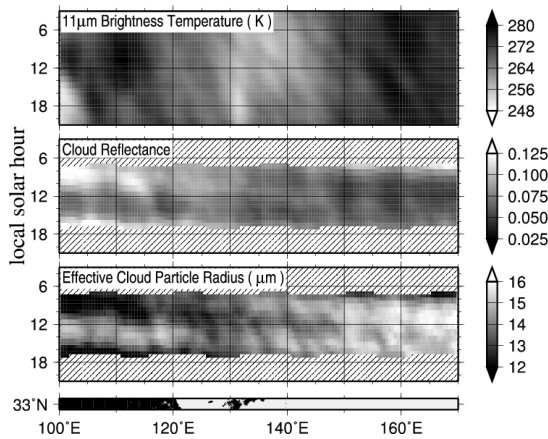


図4 2007年6月24日から1ヶ月平均した北緯33度における11ミクロン帯輝度温度(最上段), 雲反射率, 雲粒有効半径, 海陸分布(最下段, 黒が陸).

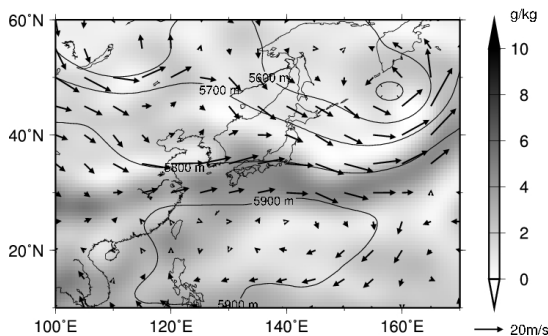


図5 NCEP再解析データによる500hPa気圧面の高度(コンター), 水蒸気(シェード), 風(ベクトル)の2007年6月24日から1ヶ月間のコンポジット.

一方, 図4の11ミクロン帯の輝度温度の日変化に着目すると, ローカル時間に依存して雲の存在率が極端に偏っていたとは言えない。また, 図5から北緯33度の緯度帯付近の中層における水蒸気量は, 東西にのびる梅雨前線により均一に分布しており, 風に関しても西風が卓越するほぼ均一な場であったと言える。よって, 雲反射率や雲粒有効半径の陸海における日変化の違いは, 雲の存在頻度や水蒸気場の不均一性による影響では無いことがわかる。さらに, 3日間平均, 5日間平均, 10日間平均を調べてみたところ, 1ヶ月平均と同じような傾向が見られた。よって, 図4はある特定のイベントを反映したものではなく, この期間における平均的な日変化であるといえる。加えて, 他の緯度帯においても, 同様の雲反射率や雲粒有効半径の日変化の特徴の陸海における違いはみられた。

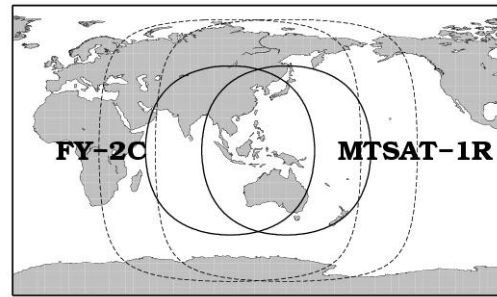


図6 MTSAT-1RとFY2-Cの観測視野(破線)と仰角30度以上の有効視野(実線).

中国の気象衛星FY2-CにもMTSAT-1Rと同様の中間赤外のセンサが搭載されている。FY2-CはMTSAT-1Rの有効視野外となる中央アジアから南アジアの地域の観測が可能であり(図6), 日中の静止衛星のデータを用いることにより, アジア域の雲性状環境の解析が可能となる。京都大学防災研究所で受信しているFY2-Cから3.7ミクロン帯雲反射率および雲粒有効半径を算出した。また, 2009年12月25日からはFY2-Cの後継機であるFY2-Eに移行したため, FY2-Eからも算出できるように環境を整備した。MTSATおよびFY2の両衛星から算出された雲粒有効半径はウェブにて公開しており, 広域アジアの雲性状環境を準実時間で監視できる体制を構築することができた。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① Yuichiro Oku, Mizuo Kajino and Hirohiko Ishikawa, Estimation of the cloud effective particle radius using MTSAT-1R data, International Journal of Remote Sensing, 2010年, 印刷中, 査読有
- ② 奥 勇一郎, 石川 裕彦, MTSAT-1R 中間赤外データを用いた雲反射率・雲粒有効半径の算出, 京都大学防災研究所年報, 51, 409-416, 2008年, 査読無

[学会発表] (計1件)

- ① 奥 勇一郎, 石川 裕彦, MTSAT-1R でみた雲粒有効半径の日変化, 日本気象学会2008年度春季大会, P433, 2008年5月21日, 横浜

[その他]

雲粒有効半径のウェブサイト

<http://ssrs.dpri.kyoto-u.ac.jp/~okusan/re>

### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

奥 勇一郎 (OKU YUICHIRO)

京都大学・防災研究所・特定研究員

研究者番号: 10456832