

## B-4 能動型と受動型リモートセンサーの複合利用による大気汚染エアロゾルと雲の気候影響研究

### (3) 衛星データとモデルによる雲・エアロゾルの研究

#### 1) 可視・赤外イメージャー及びフーリエ型分光放射計による雲・大気推定の研究

東京大学気候システム研究センター

大気モデリング分野 助教授 今須良一

<研究協力者> ロシア ウラル州立大学 Vyacheslav Zakharov

東海大学 中島孝

平成14～18年度合計予算額 (予定) 21,495千円

(うち、平成18年度予算額 3,999千円)

※ 上記の予算額には、間接経費636千円を含む。

[要旨] 本サブサブテーマの研究目的は、エアロゾルによる雲微物理特性の変化を検出するために必要なリモートセンシングデータの解析手法を開発し、実際の観測データの解析によりエアロゾルの間接効果量を推定するために必要となる統合データセットを作成することにある。

人工衛星搭載の可視・赤外イメージャーによる観測については、まず雲微物理量を抽出するための自動処理システムの開発を行った。このとき、雲レーダーやライダーなどの能動型センサーデータを組み合わせて用いることで衛星観測データの検証を行い、より高精度な解析技術を確立することができた。その技術を用いて、雲微物理量の全球的な空間分布を得ることができた。特に東アジアを中心とした地域については雲物理量データセットの集中的な蓄積を行った。さらには非静力学大気モデルとの比較が行えるようシステムを改良した。衛星データ利用の最終段階としては、受動型と能動型のセンサーの複合利用による雲の特性の理解に役立つ低コストな領域規模の衛星データの整備を実施した。これらのデータを用いた解析からは、水雲の光学的厚さと有効半径について、インド洋や北半球北部の大陸沿岸、大陸東岸などにおいて、エアロゾル量と雲粒粒径との関係に顕著な特徴みられるという結果が得られ、本研究で得られたデータセットの有用性を示すものであった。

一方、赤外放射場の直接観測の重要性を示す目的でフーリエ型赤外分光放射計による大気観測手法を導入した。まず、放射環境場の計算に重要な気温等の鉛直分布、および、窓領域における雲の赤外放射特性を求める手法を開発した。実際の地上観測結果からは、雲レーダーで見えない雲でも赤外放射場には大きな影響を与えることや、気温場の直接測定的重要性、また雲物理量解析手法としての有効性が示された。

[キーワード] 雲微物理量、人工衛星、フーリエ型分光計、エアロゾル間接効果、赤外放射特性

#### 1. はじめに

大気汚染に伴い増加しているとされる人為起源エアロゾルは、太陽放射を直接吸収・反射して放射場に作用を及ぼす、いわゆる“直接効果”ばかりではなく、雲粒子数や降水効率を変化させることを通じて気候に影響を及ぼす、いわゆる”間接効果”が問題となっている。本研究課題全

体の目的は、その間接効果の大きさの見積りにおける不確定性を減らすための基礎データの取得や、基本プロセスの解明に資することにある。特に、雲レーダーや人工衛星データ、赤外分光放射計を複合的に用いて、エアロゾルの間接効果研究のために必要なあらゆる情報を集めた”統合データセット“を作成することは重要な目標の一つである。

## 2. 研究目的

本サブサブテーマでは、人工衛星搭載の可視・赤外イメージャーによる観測データの解析技術の改良と、雲レーダーなどの能動型リモートセンシング技術との複合的な利用による検証により、より高精度なデータ解析を実現し、それにより得られたデータの蓄積により、雲-エアロゾル相互作用に役立つデータセットを作成することが一つの目標である。

一方、雲物理量などの変化は太陽放射の反射率などの変化を通じて地球の入射放射場に影響を与えるばかりではなく、大気の冷却を司る赤外放射場にも大きな影響を及ぼす。そのため、雲レーダーやライダーなどの能動型センサーによる雲微物理量の測定だけではなく、この大気中赤外放射場を直接測定することが重要である。本研究では、その重要性を直接、観測から示すために雲レーダーやライダーと同時運用できる地上設置型のフーリエ型分光放射計の整備を行い、そのデータ解析手法の確立により、能動型センサーとの統合データセットが作成できるようにする。これにより、雲微物理量の変化が放射場に与える影響をこれまでにない精度で評価できるようにする基盤技術を確保する。これらの観測技術から得られたデータの解析により、人工衛星観測、あるいは地上観測のどちらにおいても、能動型センサーだけではなく、赤外放射場を同時に測定することが重要であることを示すことは、本テーマの重要な目的の一つである。

## 3. 研究方法

上記のとおり、本研究では主に人工衛星搭載の可視・赤外イメージャーに関する研究と、フーリエ型分光放射計を用いた研究に分けることができる。以下、それぞれについてある程度独立に手法やデータ解析結果について述べる。

### (1) 人工衛星搭載の可視・赤外イメージャー大気環境計測

雲の光学的厚さや粒子粒径などの雲微物理量を広域的に把握するには、人工衛星搭載の多チャンネル（可視・赤外）イメージャーの解析による方法が最も有効的である。近年、米国により打ち上げられたTerra衛星搭載のMODISセンサーや、日本のADEOS II衛星に搭載されたGLIセンサーは、雲物理量の解析に有効なチャンネルを搭載していることから、本研究ではこれらのセンサーデータを利用するものとする。具体的には、これらのイメージャーデータから雲の微物理量を解析するためのアルゴリズム開発と、衛星から受信されるデータを自動処理し、準リアルタイムで利用できるようにする処理システムの開発を行う。また、水平情報の優れるイメージャーデータと、鉛直分解能に優れる雲レーダーやレーザ・レーダーデータなどの能動型センサーデータとを組み合わせ、より精度の高い雲微物理量の解析や、新たな物理量の抽出を行うためのデータ解析手法を開発する。それらを用いて、雲微物理量データセットを作成する。特に、GLIデータからは全球データセットを、また、MODISデータからは東アジア地域のデータセットを作成する。さらにMODISデータについては、領域規模のリモートセンシングデータを現実的な計算コストで実現しつつ、

雲を含む観測シーンのテクスチャ情報は保存されている中間解像度のデータセットを作成する。これらのデータを用いて、雲微物理量とエアロゾルの特性との比較解析を行い、地域的な特徴を明らかにすることで、このようなデータセットの有効性を示すものとする。

結果・考察においては、1) MODISによる東アジア地域のデータセット作成（雲微物理量解析の自動処理システムの構築）、2) GLIデータによる全球データセットの作成、3) 中間分解能の領域データセットの作成、4) 能動型センサーとの同時観測の4項目に分けて結果を報告する。

## (2) フーリエ型分光放射計を用いた大気環境計測

雲レーダーなどの能動型センサーのみによる大気観測よりも、フーリエ分光放射計などの赤外放射計測装置も合わせた観測の方が、放射場や雲微物理用の観測において、より幅広い種類の雲や正確な放射環境場が計測できる。そのことを示す目的でフーリエ分光放射計による大気観測を実施する。まず、この分光計で測定される放射スペクトルデータから、温度等の鉛直分布といった大気情報や、雲の赤外放射特性、微物理量などを求めるアルゴリズム開発を実施する。その上で、これらの手法を用いた実際の観測データの解析から、赤外分光データの有用性を示すための解析を実施する。特に、雲レーダーやライダーとの同時観測を実施し、これら能動型センサーだけでは得られない大気パラメータの重要性を示すものとする。

結果・考察においては、1) 地上設置型フーリエ型分光放射計の整備、2) 気温鉛直分布と赤外放射場の計測、3) 雲微物理量の計測の3項目に分けて結果を報告する。

## 4. 結果・考察

### (1) 人工衛星搭載の可視・赤外イメージャー大気環境計測

#### 1) MODISによる東アジア地域のデータセット作成

##### －雲微物理量解析の自動処理システムの構築－

まず、多チャンネルイメージャーデータから雲の光学的厚さと平均雲粒子径を求めるためのアルゴリズムをMODISセンサー用に改良し、データ解析に必要な参照データテーブルの作成等を行った。その上で、衛星から受信され、東京大学生産技術研究所経由で配信される生データを処理し、最終的な雲微物理用の水平分布情報を得るための自動処理システムを作成し、東アジアを中心とした地域について雲微物理量データセットの蓄積を行った。この時データ処理に必要なオゾン量データ（TOMS衛星データ）はNASAから、また、気象データは気象庁から自動的に取得される。この具体的なデータ処理作業を進めるためには、国立環境研究所（つくば市）の衛星搭載MODIS解析システムの運用の安定化が必要であり、そのためにデータ受信局である東京情報大学（メイン）と東大生産研究所（サブ）のデータ処理システム支援用ソフトの改良も実施した。現在、東アジア領域を観測したTerra衛星MODISデータは、観測後数時間から10時間程度で自動解析処理され、雲特性（光学的厚さ、有効半径、雲頂温度）とエアロゾル特性（光学的厚さ、オングストローム指数、種別）がWeb上で表示される。世界の研究者は本ページにアクセスすることにより、東アジア領域の雲とエアロゾルの分布やその特性を確認することができる。毎日の解析データは蓄積・配布され、非静力雲モデル等の検証データとして十分に活用されている

([http://atm-phys.nies.go.jp/~particles/modis\\_terra.html](http://atm-phys.nies.go.jp/~particles/modis_terra.html))。このシステムを用いて行われたデータ解析結果の一例を図1に示す。これは、2005年3月10日に日本付近上空で取得されたMODIS

データを処理し、雲の光学的厚さ、平均雲粒子径、雲頂温度を解析したものである。灰色の抜けている部分は晴天部分である。

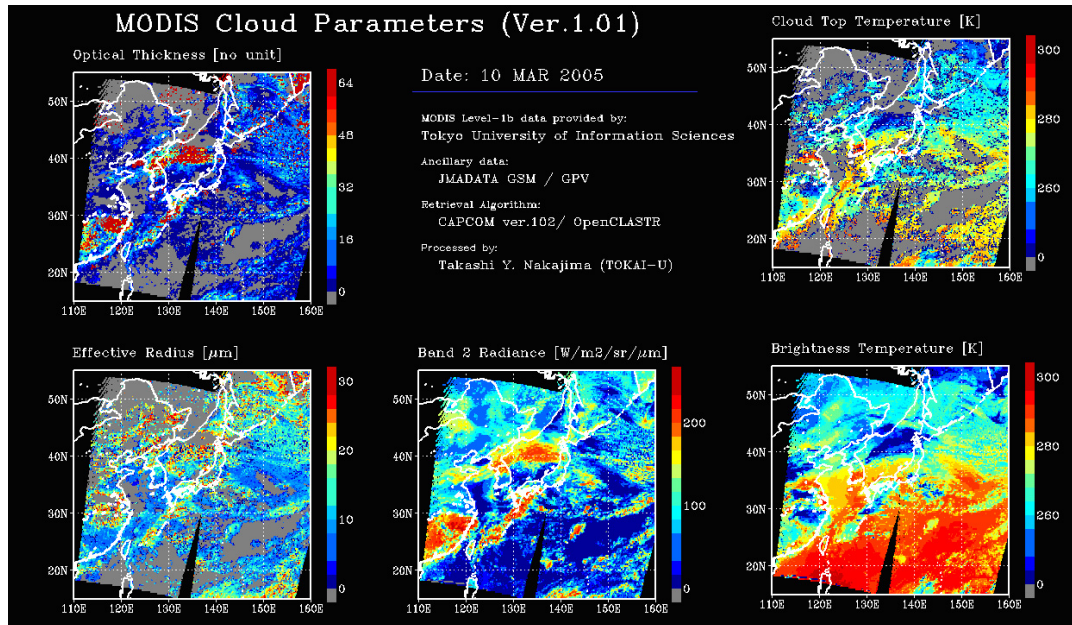


図1 自動解析後、Webに掲載された集中観測実験中の2005年3月10日の衛星観測による雲特性の結果。

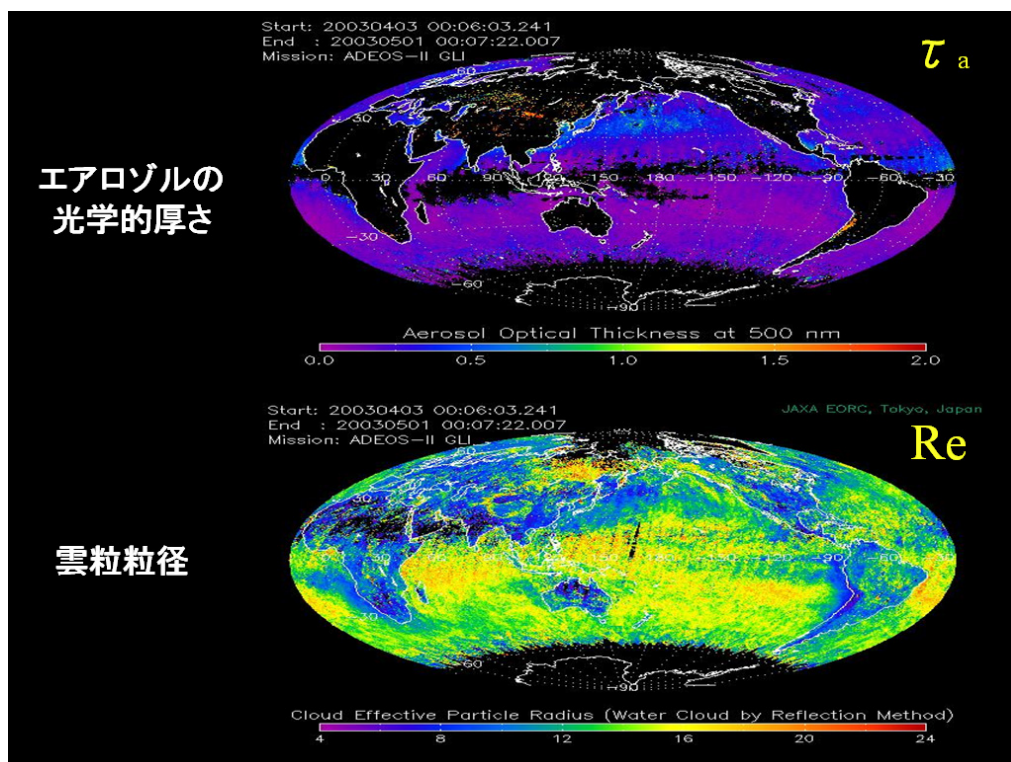


図2 GLIセンサー画像の解析により得られたエアロゾルの光学的厚さと雲粒子平均粒径の解析例。

## 2) GLIデータによる全球データセットの作成

日本のADEOS II 衛星に搭載されたGLIセンサーデータについて、エアロゾルの光学的特性と雲微物理量の解析を実施し、その結果を全球データセットとして蓄積した。結果の一例を図2に示す。エアロゾルや雲の微物理量（エアロゾルの光学的厚さと雲粒粒径）の全球分布図の解析例を図1に示す。この結果から、都市域近傍におけるエアロゾル量の多い地域では雲粒粒径が相対的に小さく、エアロゾル-雲の相互作用が起きていることが確認できる。また、これらのデータから雲微物理量の季節変化を調べると、エアロゾルの影響の大きい春季において、4月から6月にかけて徐々に雲粒の有効半径が大きく（エアロゾルの数が少なく）なっていくことも検出されている。これは、雲とエアロゾルの相互作用を示すものであり、本データセットの有効性を示す結果であるといえる。

## 3) 中間分解能の領域データセットの作成

衛星リモートセンシングでは、解析成果の活用形態や計算コストを検討しながら、求められる解像度や観測範囲の広さを設計する。たとえば、気候学的な議論のためには、高解像度は必ずしも求められないが、全球規模のデータ解析が必要な場合がある。一方で、いわゆる集中観測実験による衛星データ解析の例では、地上観測点や航空機観測との同期が図られることが多く、ある程度の高解像度が必要であるが観測範囲は局所的でよい。受動型と能動型のセンサーの複合利用による雲特性の理解においては、観測結果と雲モデルによるシミュレーションの比較研究において、ある程度詳細な観測結果を基にしたプロセススタディが非常に重要となる。ここでは、領域規模の衛星リモートセンシングを現実的な計算コスト（データ入手コストも含む）で実現するという新たなニーズが生じていた。そのため本研究では、Terra衛星搭載MODIS 5kmリサンプリングデータ (MOD02SSH) を活用したデータ処理システムを新規に構築した。

MOD02SSHデータセットは、Terra/MODISの1km解像度データを5pixels-lines毎に単純間引きして作成された中解像度輝度データセットである。データセットのサイズは1km解像度データの約1/25、約100GBbyte/月というコンパクトでありながら、雲を含む観測シーンのテクスチャ情報は保存されていることから、プロセススタディに資する雲特性の詳細解析には適している。また、オンラインによるデータダウンロードの観点からもデータ保存の観点からも使い勝手の良いデータセットである。

図3はMOD02SSHデータを解析して得られた2004年7月のインド東アジア領域における水雲光学的厚さと雲粒有効半径の1ヶ月平均値である。データ解析には、Nakajima and Nakajima (1995) に Kawamoto et al. (2000) の水蒸気補正を加えたアルゴリズム (CAPCOM Ver1.04) を用いた。

図4は、推定された水雲の光学的厚さと有効半径のScatter Plot Diagramを12x8に区切った領域毎に作成したものである。これらのScatter Plotには、雲の凝結生成および消滅過程の情報が含まれていると考えられており、それぞれの過程についてはおおよそ図5で説明することができると思われる。なお、本領域において、3種の特徴的なScatter Plotが得られた。



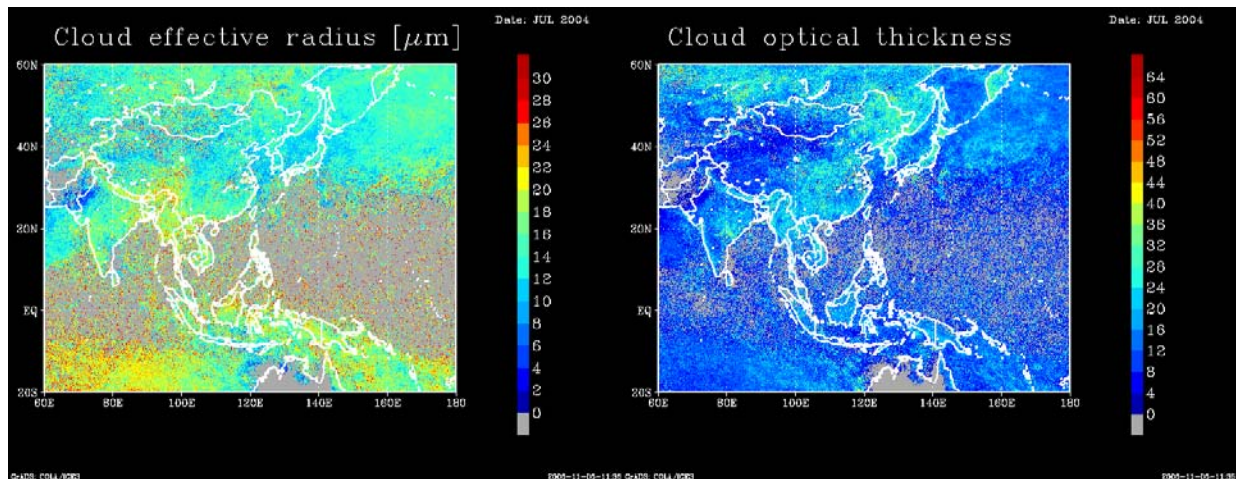


図3 2004年7月のインド東アジア領域における雲光学的厚さ (Cloud Optical Thickness)と雲粒有効半径 (Cloud Effective Radius [ $\mu\text{m}$ ])の推定結果

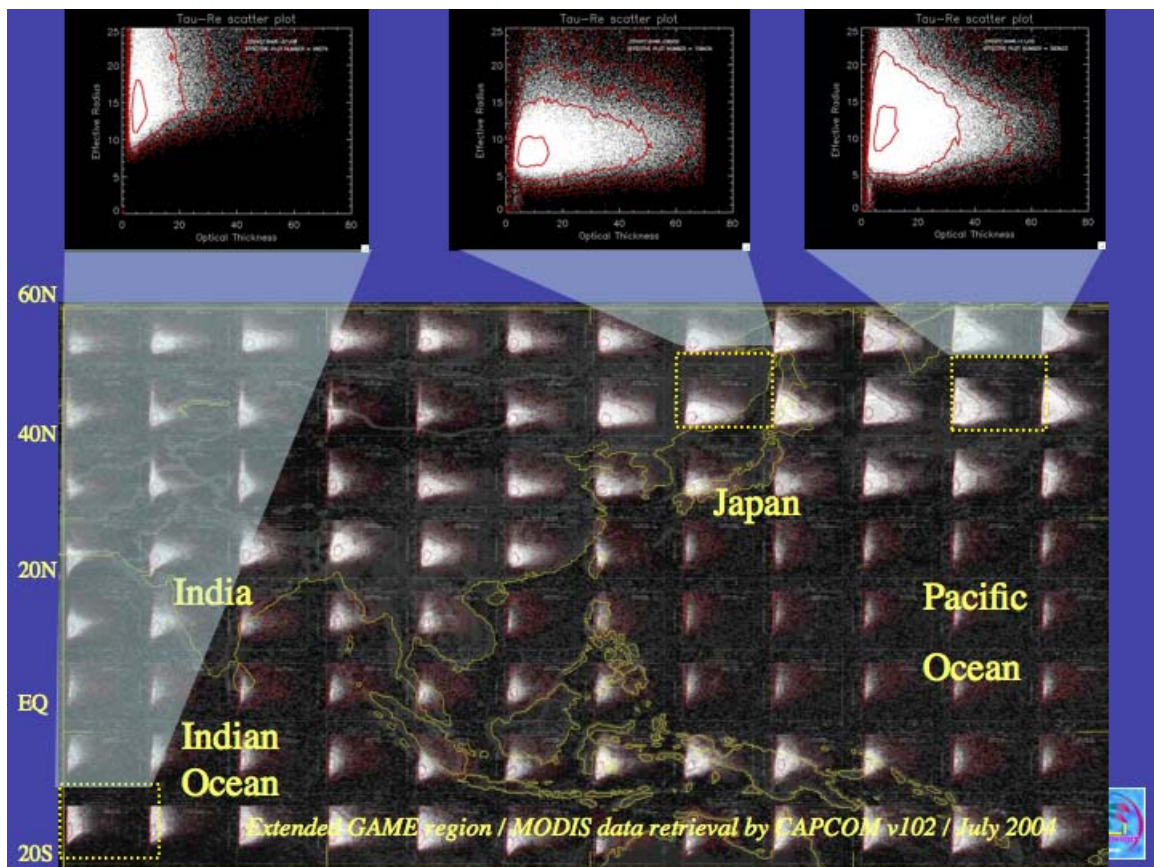


図4 光学的厚さと雲粒有効半径のscatter plot diagram。図3の表示領域を12 x 8のサブ領域に分割して作成した。

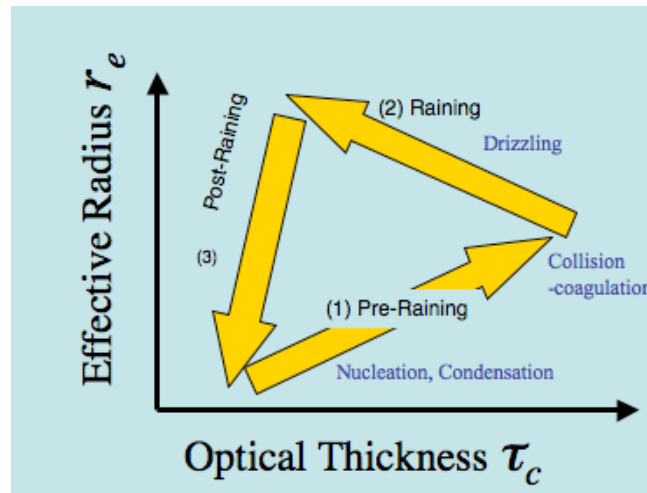


図5 光学的暑さ( $\tau$ )および雲粒有効半径( $r_e$ ) scatter plotにおける雲の凝結成長消滅過程の模式図。

ひとつめは、南緯20度付近のインド洋にみられるように、有効半径が比較的大きく、かつ光学的に薄い領域である。本領域においては、雲凝結核となるエアロゾル（大気中微粒子）の濃度が薄く、雲の凝結成長が比較的スムーズに起こっている領域と考えられる。次に、北緯40度付近の大陸沿岸に見られるように、有効半径が小さくかつ光学的にも厚い領域がある。この領域では、雲凝結核が多く雲粒の成長が抑えられ、また光学的に厚くなっていると考えられる。最後に大陸東岸沖については、凝結核の多い状況と少ない状況がミックスしたようなプロットが得られている。このように、雲光学的厚さと雲粒有効半径のScatter Plotからは、それぞれの地域におけるエアロゾル場の様子が反映されている可能性があることが分かった。

#### 4) 能動型センサーとの同時観測

本課題のB4-(1)グループにより、雲レーダーを航空機に搭載し、実際の大気観測が実施されている。図6に衛星データの解析例として示した観測日は、まさにこの航空機観測の行われた日であり、衛星と航空機観測の同期が取れた観測データが一部取得されている。上図には、航空機の飛行経路に沿ったMODISデータから推定した雲の光学的厚さ、雲粒子有効半径（ミクロン）、雲頂温度(K)を示す。また、下図には、雲レーダーの反射強度因子を示す。雲レーダー画像において低層雲に氷雲が重なっていると考えられる領域（青まるで囲った領域）に対応して、MODISデータでは大きな雲粒子の雲が検出されている。これは、この領域に大きな氷晶粒子が存在していたことを示すものである。これまでMODISのような衛星搭載センサー単独による観測では、どのような内部構造（鉛直構造）をもつ雲を観測しているのかが不明確であったが、上記のように、雲レーダーとイメージャーとの同期観測では、その点を明らかにすることが可能であるといえる。これは、雲レーダーとイメージャーとの同時搭載を目指すEarthCARE計画の重要性をあらためて示すものであるともいえる。

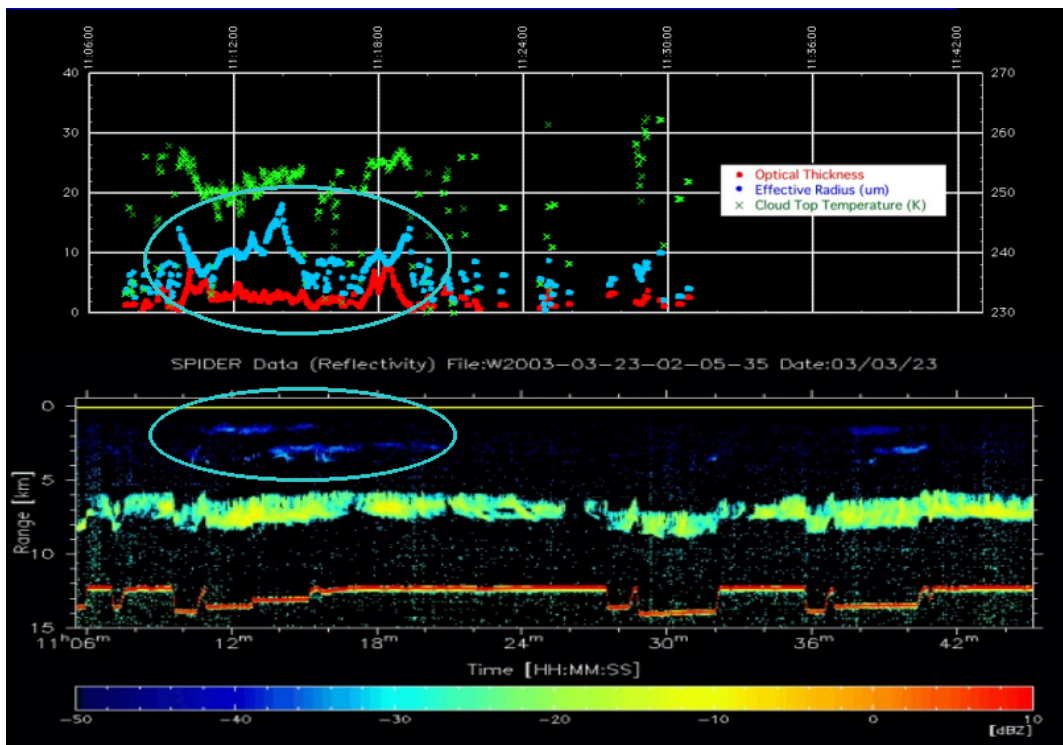


図6 上図：航空機の飛行経路に沿ったMODISデータから推定した雲の光学的厚さ、雲粒子有効半径（ミクロン）、雲頂温度(K)。下図：航空機搭載型雲レーダーにより観測された反射強度因子。

一方、衛星観測と地上観測との比較を可能にするため、衛星データの定点解析ツールを整備した。具体的には、東アジア領域の16カ所の地上観測点において、MODIS観測データを用いた詳細解析を行った。各地上観測点から半径5 km範囲内のMODIS観測ピクセルにおける各雲特性の平均値、標準偏差を計算した例として、福江島観測サイトにおける2005年1月1日から3月31日までの毎日の雲の光学的厚さと有効半径を図7に示す。なお、観測サイト周辺に雲ピクセルが全くない晴天域の場合には、観測値は表示されていない。図から、福江近辺においては、1月の光学的厚さが厚く2月、3月は比較的薄くなっていることがわかる。有効半径は、1月が小さく、2月、3月は大きくなっている。標準偏差の値は、5km範囲内での数値のばらつきを示している。このようなシステムが構築されたことで、今後、航空機や地上観測データ、さらには非静力学大気モデルとの比較を行うことが可能となった。



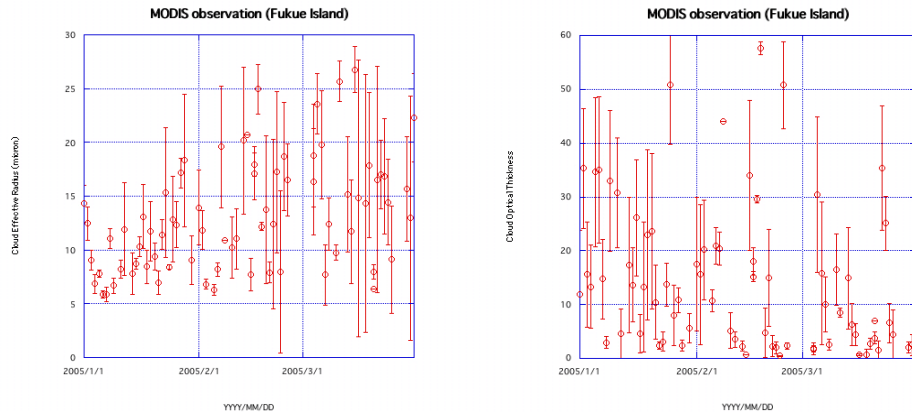


図7 2005年1月1日から3月31日までの、福江島観測サイトにおけるMODISから推定された雲特性。観測サイトの周辺5 km以内に含まれるMODISピクセルから得られた推定値の平均値(○)と標準偏差(エラーバー)。

## (2) フーリエ型分光放射計を用いた大気環境計測

### 1) 地上設置型フーリエ型分光放射計の整備

本研究で使用するフーリエ型分光放射計は、特別仕様の装置ではなく、分光器メーカー、および、校正用機器販売会社から通常に入手できる装置を組み合わせることで観測システムをくみ上げることを基本とした。これは、本手法を広く一般に利用できることを念頭に置いての方針である。測定された赤外放射スペクトルの絶対校正を行うためには最低2つの校正用黒体が必要となる。また、野外観測であることから、機器校正は5～10分程度に一度行う必要がある。そのため、光路切り替えミラーを用いて、校正用黒体と大気(真上)の観測を一定時間間隔で切り替える自動運転ができるようにシステムの制御系に改良を加えた。その装置の外観と同時運用された雲レーダー、および、ライダーを含めた観測光景の写真を図8に示す。



図8 フーリエ分光放射計システムの外観(左図)と、雲レーダー、および、ライダーとの同時観測の光景。

2) 地上設置型フーリエ型分光放射計の整備

フーリエ分光放射計では、晴天、曇天を問わず赤外放射スペクトルの測定が行える。一般に直接的な赤外放射スペクトル観測を行わない場合には、近傍の気象ゾンデ観測から得られた気温等の鉛直分布情報から、赤外放射場の理論計算を行う。しかし、ゾンデの観測地点がすぐ近くになかったり、気温等の変動の激しい場合には、その理論値と実測値が合わない。一例を図9に示す。これは、約70km離れた気象庁の定時ゾンデ観測データに基づいて計算された赤外放射スペクトルと実際に観測されたスペクトルが大きくずれることを示している。このずれの最も大きい波長は10μm付近で、水蒸気の連続吸収帯の影響が主にある場所である。一方、気温の影響を反映する15μm付近のCO<sub>2</sub>のバンド付近では両者の一致が良いことから、この違いは主に水蒸気情報の間違いいからもたらされたものであるといえる。したがって、後に示すフーリエ分光放射計自身から気温と水蒸気量の解析を行う必要があることを示すものであるといえる。

一方、曇天時の観測例を図10に示す。この例では、雲レーダーとライダーとの同時観測を行ったものである。この図からマイクロ波を用いる雲レーダーでは検出できないものの、可視光を用いるライダーや赤外放射計では明確にその影響が検知できていることを示している。雲が全天で一様と仮定して、その雲による赤外放射フラックスの影響を見積もると、10~20W/m<sub>2</sub>にも及ぶことが分かる。この結果も、大気中の正確な赤外放射場を求めるためには、雲レーダーのみによる雲検出では不十分であり、能動型センサーデータから理論計算を行うにしても、雲レーダーとライダーデータの両方がないと雲粒粒径などの推定ができないことから、やはりこの組み合わせの観測だけでは放射場の計算は行えないことになる。やはり放射計による直接観測が必要であるといえる。

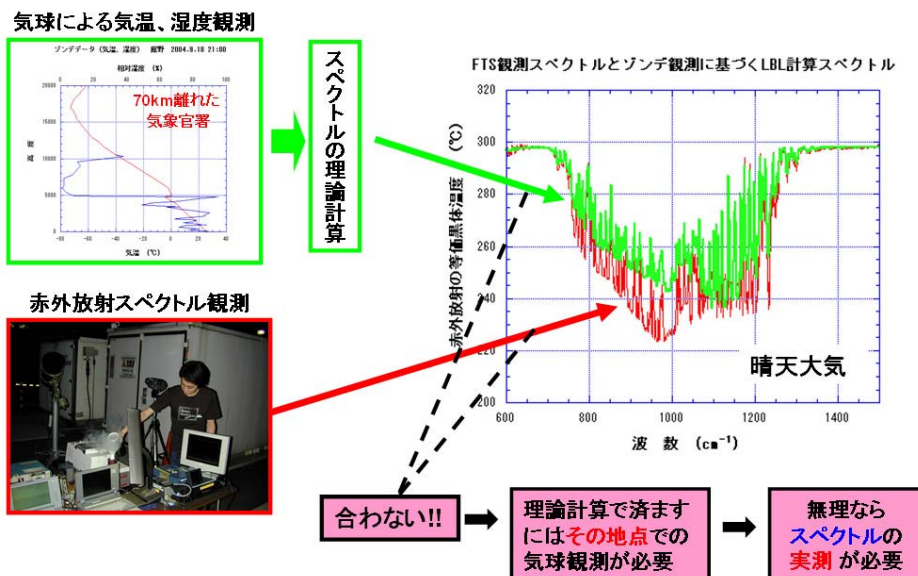


図9 理論計算された赤外放射スペクトルと観測されたスペクトルとの比較の例。

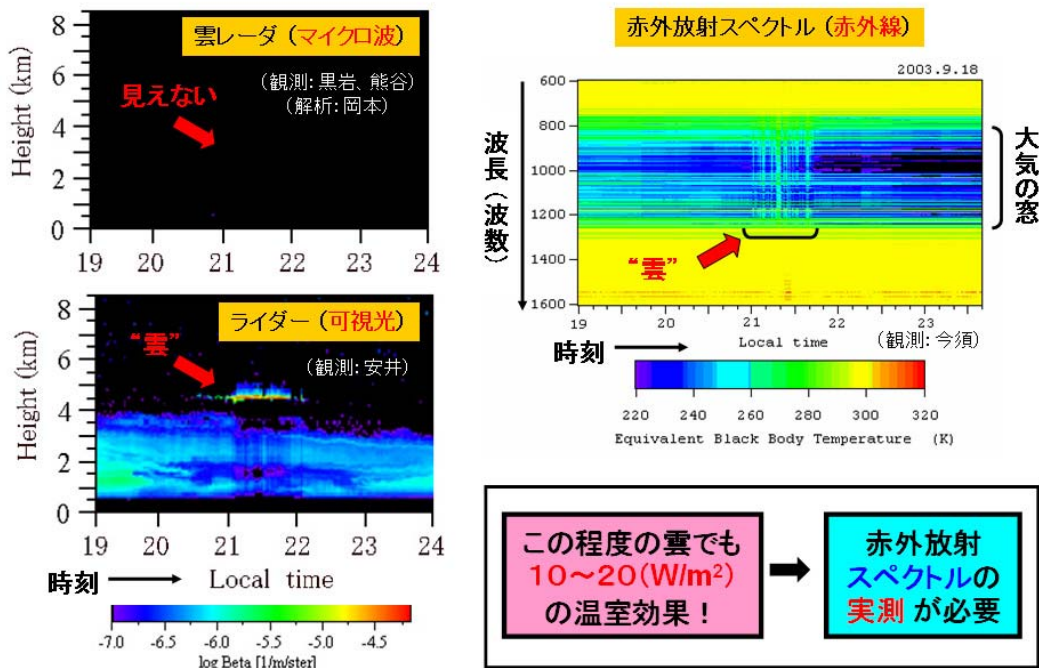


図10 雲レーダー、ライダーによる雲観測と同時に行われたフーリエ型分光放射計による赤外放射スペクトルの観測例。図中に示した雲による下向き赤外放射量の増加（温室効果）は、10~20W/m<sup>2</sup>に及ぶ。

### 3) 気温鉛直分布と赤外放射場の計測

前節では赤外放射計自身のデータから気温等の鉛直分布情報を得ることが重要であることを示した。そのためには、人工衛星データ解析に用いられている上空から大気を見下ろした時の観測データ解析用のソフトウェアを地上から上空を見上げる観測データ用に改良が必要となる。その改良を行い、観測スペクトルから気温の時間-高度断面を求めたのが図11である。

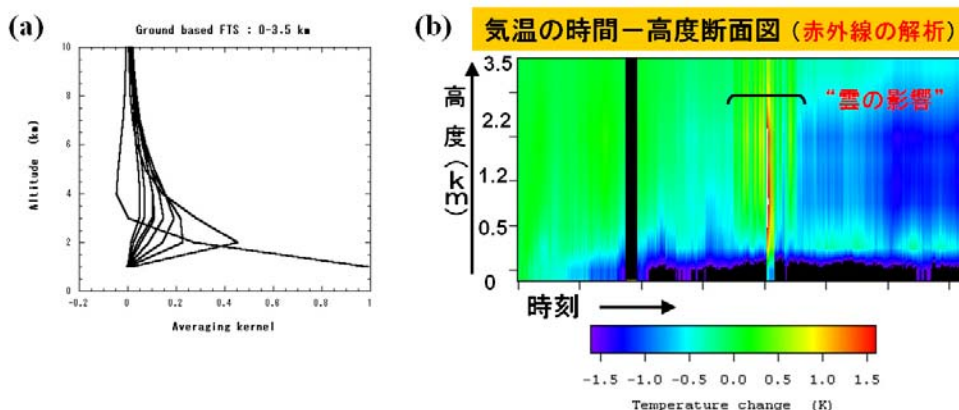


図11 フーリエ分光放射計からの赤外放射スペクトルデータの解析から得られた気温の時間-高度断面図の例。左図は鉛直分解能関数。

この図の(a)は鉛直分解能関数であり、各曲線のピーク位置を中心とした広がり、気温観測情報の“ぼやけ”具合を示している。半値半幅で定義される鉛直分解能は下層大気で1~2km程度である。(b)に示した気温の時間-高度断面(偏差表示)からは、夕方から夜中にかけて気温が徐々に低下している様子がうかがえる。ただし、雲レーダーでは検出できなかった雲も、気温解析には影響を大きく及ぼしていることが、図の中央付近にある異常な高温として解析されてしまっているデータからも分かる。この時の気温誤差は図11に示したように数度におよび、徐々に起きている気温の低下幅を大きく超えており、雲を含めた解析手法の必要性を示すものであるといえる。

### 3) 雲微物理量の計測

8~13  $\mu\text{m}$  付近の赤外線の大気の窓領域における放射スペクトルデータの解析からは雲の光学的厚さや雲粒粒径といった雲微物理量の解析が可能である。特に10~13  $\mu\text{m}$  付近の波長では、水と氷の屈折率の違いを反映して、氷雲と水雲の区別が可能となる。このような解析を行うためには、まず放射伝達計算コード `rstar4b` を用いて理論計算された放射スペクトルの雲粒粒径や相による違いをデータテーブル化する。その上で、観測されたスペクトル情報をテーブル値と比較することで、最適な雲微物理量を推定する方法をとる。ただし、このとき正確な雲高度が分かっている必要があるため、本研究ではその雲情報をライダーデータから得る方法をとった。この時用いるデータテーブルを図化した一例を図12に示す。このテーブル値と図13に示したような観測スペクトルとの差が最小になるような雲微物理量を求める解析値とするのである。

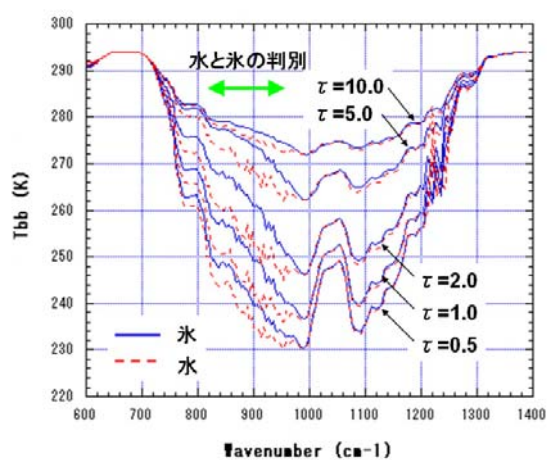


図12 雲物理量解析に使用するデータテーブルの例。

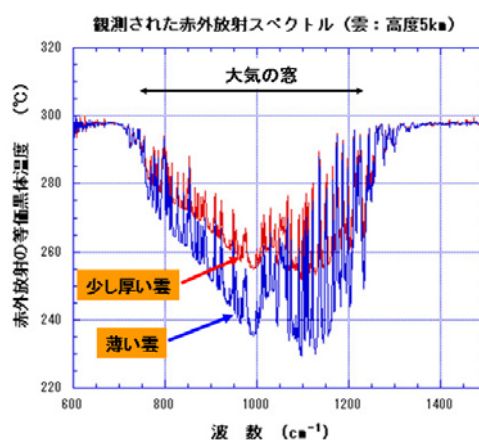


図13 雲の赤外放射スペクトルの観測例。

図14には図11に示したのと同じ雲についての解析結果を示す。これを見るとこの雲は明らかに氷雲であり、光学的厚さは1~2程度、平均雲粒粒径は2~3  $\mu\text{m}$ と粒径の小さい雲であるとして解析される。雲レーダーとライダーの2つの値からこのような雲微物理量の解析が可能であるが、元々この雲は雲レーダーに映らないため能動型センサーだけからは雲微物理量の解析を行うことができないケースである。しかし、ライダーデータからの雲高度情報を合わせた赤外放射観測データからは雲微物理量の解析が可能であることを示している。雲が光学的に厚い場合には雲レーダーとライダーとの組み合わせ、光学的に薄い場合にはライダーとフーリエ型分光放射計



の組み合わせで雲微物理量の解析が可能であるといえ、能動型センサーと受動型センサーである赤外分光放射計を組み合わせることで、より幅の広い雲の微物理量を解析することができることを示すものであるといえる。

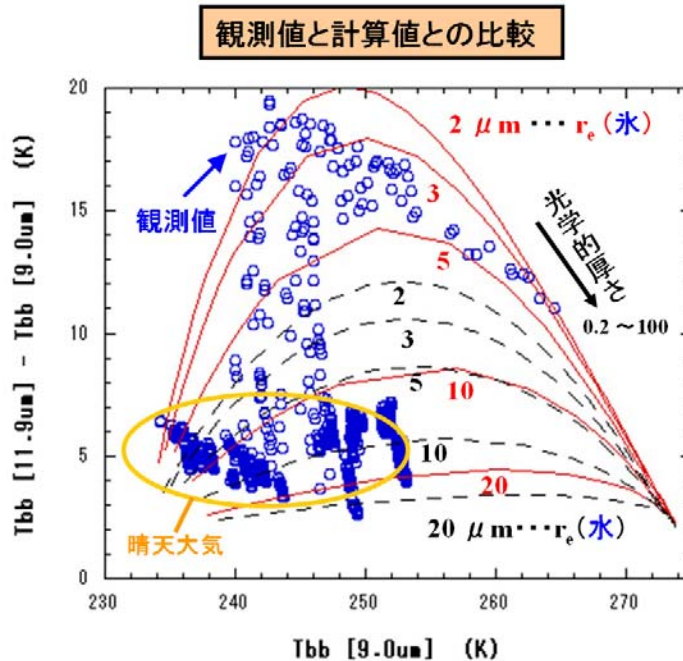


図14 観測データと理論計算値の比較による解析例。11.9 $\mu\text{m}$ と9.0 $\mu\text{m}$ の波長における等価黒体温度の差を、9.0 $\mu\text{m}$ の波長における等価黒体温度の関数としてプロットしたものに、理論計算値を重ね書きしたもの。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

本研究は雲とエアロゾルの相互作用の研究に必要なそれらの広域、長期間のデータの蓄積を可能にする人工衛星データ解析システムの構築を行うことができ、また、このような雲の観測や赤外放射場の観測には雲レーダーなどの能動型センサーだけではなく、フーリエ分光放射計などの受動型センサーを組み合わせることで有効性を示した。

### (2) 地球環境政策への貢献

地球温暖化の正確な将来予測のために不可欠な雲とエアロゾルの相互作用の研究に必要なエアロゾルと雲微物理量の長期データの蓄積を行い、そのデータをWeb等を通じて広く世界に公開することで、この分野の研究促進に貢献し、気候の将来予測の精度向上に資することができた。

## 6. 引用文献

なし

## 7. 国際共同研究等の状況

EarthCARE衛星計画に関するPhase-A研究（ヨーロッパ宇宙機関、宇宙開発事業団、通信総合研究所）において、本研究から得られたフーリエ型分光放射計による大気観測シミュレーションに関する発表を行い、装置設計の基礎データを提供するなど、計画の推進に貢献した。

## 8. 研究成果の発表状況

### （1）誌上発表（学術誌・書籍）

<論文（査読あり）>

- 1) Y.Y. Nakajima, H. Murakami, M. Hori, T. Nakajima, T. Aoki, T. Oishi, and A. Tanaka, *Appl. Opt.*, 42, 3460-3471 (2003)  
 “Efficient use of an improved radiative transfer code to simulate near global distributions of satellite measured radiances”
- 2) H. Zhang, T. Nakajima, G. Shi, T. Suzuki, and R. Imasu: *J. Geophys. Res.*, 108, 4641 10.1029/2002JD003358 (2003)  
 “An optimal approach to overlapping bands with correlated k-distribution method and its application to radiative calculations”
- 3) V. I. Zakharov, R. Imasu, K.G. Gribanov, G. Hoffmann, and J. Jouzel: *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 31, No. 12, L12104, 10.1029/2004GL019433 (2004)  
 “Latitudinal distribution of the deuterium to hydrogen ratio in the atmospheric water vapor retrieved from IMG/ADEOS data”
- 4) Y. Ota, and R. Imasu, *IRS 2004 Proceedings 'Current Problems in Atmospheric Radiation'*, Deepak (2004)  
 “Characteristics of spectral emissivity for various types of the surface derived from IMG spectrum data”
- 5) T.Y. Nakajima, T. Nakajima, A. Higurashi, N. Kikuchi, and M. Kuji: *Journal of Remote Sensing Society of Japan*, 26, 33-36 (2005)  
 “Comparisons of warm cloud properties obtained from satellite, ground, and aircraft measurements during APEX intensive observation period in 2000 and 2001”
- 6) T.Y. Nakajima, A. Uchiyama, T. Takamura, N. Tsujioka, T. Takemura, and T. Nakajima, *J. Met. Soc. Japan*, 83, 1085-1095 (2005)  
 “Comparisons of warm cloud properties obtained from satellite, ground, and aircraft measurements during APEX intensive observation period in 2000 and 2001”
- 7) Toptygin, A. Yu, K.G. Gribanov, R. Imasu, G.A. Schmidt, V. I. Zakharov: *Atmospheric and Ocean Optics*, Vol.19, N10, pp.875-879 (2006)  
 “Latitudinal distribution of vertical profiles and total column amount of HDO/H<sub>2</sub>O ratio in the atmosphere over ocean retrieved from IMG/ADEOS observations”
- 8) R. Imasu, Y. Ohno, and H. Kumagai, *J. Appl. Remote Sensing* (2007)  
 “Cloud microphysical parameters derived from synergetic analysis of remote sensing data observed by ground based lidar, cloud profiling radar, and FT-IR”

- 9) R. Imasu, Y. Ohno, and H. Kumagai, Journal of Remote Sensing Society of Japan, 26, 33-36 (2007)

“Ground based Fourier Transform Spectrometer (FTS) for measuring vertical structure of atmospheric parameters”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) R. Imasu and Y. Ota: SPIE 4897, 57-64 (2003)  
“Ozone retrieval from high-resolution spectrum data observed by IMG/ADEOS sensor”
- 2) V. I. Zakharov, R. Imasu, and K. G. Gribanov: SPIE 4897, 65-71 (2003)  
“D/H latitudinal distribution in the atmosphere retrieved from IMG spectra”
- 3) K. Kondo, R. Imasu, T. Kimura, M. Suzuki, A. Kuze, and T. Ogawa: SPIE 4897, 91-98 (2003)  
“Mission objectives and instrument design concept of EarthCARE FTS”
- 4) K. Kondo, R. Imasu, T. Kimura, J. Tanii, T. Nakajima: SPIE, 5152, 32-41 (2003)  
“Objectives and instrument design of EarthCARE FTS”
- 5) R. Imasu and Y. Ota: SPIE, 5655, 106-113 (2004)  
“CO2 columnar amount retrieved from thermal infrared spectra observed by IMG/ADEOS”
- 6) Y. Ota and R. Imasu: SPIE, 5655, 437-444 (2004)  
“Temperature and water vapor retrieval from IMG/ADEOS spectrum data”
- 7) A. Toptygin, K. G. Gribanov, R. Imasu, W. Bleuten, and V. I. Zakharov: SPIE, 5655, 508-514, (2004)  
“Seasonal methane content in atmosphere of the permafrost boundary zone in Western Siberia determined from IMG/ADEOS and AIRS/AQUA data”
- 8) K. G. Gribanov, R. Imasu, G. Schmidt, A. Toptygin, and V. I. Zakharov: SPIE, 5655, 515-521, (2004)  
“Neural network retrieval of deuterium to hydrogen ratio in atmosphere from IMG/ADEOS spectra”
- 9) V. I. Zakharov, R. Imasu, and K. G. Gribanov: SPIE, 5655, 540-547 (2004)  
“Regarding free energy net of the earth and its monitoring from space concept”
- 10) T. Y. Nakajima, A. Sumi, K. Imaoka, and N. Kikuchi: SPIE, Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XI, 5978, 597802 (2005)  
“On the sciences obtained from ADEOS-II mission”
- 11) Imasu, R., N. Saitoh, Y. Ota, and S. Taguchi: SPIE, doi:10.1117/12.724963 (2006)  
“CO2 retrieval performance of TANSO-FTS(TIR) sensor aboard Japanese greenhouse gases observing satellite (GOSAT).”
- 12) Toptygin, A. Yu, K. G. Gribanov and V. I. Zakharov, Y. Kasai, A. Kagawa, Y. Murayama, R. Imasu, G. A. Schmidt, G. Hoffmann, and J. Jouzel: SPIE, doi:10.1117/12.724949 (2006)  
“Method and results of retrieval of HDO/H2O in atmosphere from IMG/ADEOS and FTIR data”
- 13) Saitoh, N., Y. Ota, S. Taguchi, R. Imasu: SPIE 6405, doi:10.1117/12.693803 (2006)  
“Assessment of uncertainty in CO2 concentrations retrieved from thermal infrared

spectra of GOSAT satellite”

(2) 口頭発表 (学会)

- 1) R. Imasu and Y. Ota: SPIE's The Third International Asia-Pacific Environment Remote Sensing Symposium, Hangzhou.China (2002)  
“Ozone retrieval from high-resolution spectrum data observed by IMG/ADEOS sensor”
- 2) V. I. Zakharov, R. Imasu, and K. G. Gribanov: SPIE's The Third International Asia-Pacific Environment Remote Sensing Symposium, Hangzhou.China (2002)  
“D/H latitudinal distribution in the atmosphere retrieved from IMG spectra”
- 3) K. Kondo, R. Imasu, T. Kimura, M. Suzuki, A. Kuze, and T. Ogawa: SPIE's The Third International Asia-Pacific Environment Remote Sensing Symposium, Hangzhou.China (2002)  
“Mission objectives and instrument design concept of EarthCARE FTS”
- 4) 田代朋之、今須良一、竹村俊彦: 日本気象学会 2003 年春季大会, つくば (2003)  
「代替フロン物質HFEの濃度分布と3次元計算によるGWP」
- 5) 今須良一: 日本気象学会 2003年度春季大会, 予稿集 p.103, つくば (2003)  
「IMG/ADEOSデータから解析されたHDOの緯度分布」
- 6) 太田芳文、今須良一: 日本気象学会 2003年度春季大会, 予稿集 p.105, つくば (2003)  
「衛星搭載赤外線センサーによるオゾン空間分布導出手法の検討」
- 7) 今須良一、太田芳文、横田達也: 日本気象学会 2003年度秋季大会, 予稿集 p.81, 仙台 (2003)  
「衛星搭載赤外分光放射計によるCO<sub>2</sub>濃度の測定」
- 8) 太田芳文、今須良一、小熊健太郎: 日本気象学会 2003年度秋季大会, 予稿集 p.255, 仙台 (2003)  
「IMG/ADEOSによる地表面射出率の測定」
- 9) R. Imasu and Y. Ota: Atmospheric Science from Space using Fourier Transform Spectrometry, Bad Wildbad.Germany (2003)  
“A method for retrieving columnar CO<sub>2</sub> concentration from thermal infrared radiation spectrum”
- 10) Y. Ota and R. Imasu: Atmospheric Science from Space using Fourier Transform Spectrometry, Bad Wildbad.Germany (2003)  
“Characteristics of spectral emissivity for various types of the surface derived from IMG spectrum data”
- 11) V. I. Zakharov V. I., Gribanov K. G., R. Imasu, A. Khain, V. M. Shmelev, A. P. Vasiliev: World Conference on Climate Change (WCCC2003), 30 September (2003)  
“From Industrialization to Greenhouse Explosion ?”
- 12) 今須良一, 太田芳文: APEX and ACECAP ワークショップ, 蓼科 (2004)  
“フーリエ型分光器による大気・雲物理量・赤外放射特性の観測”
- 13) R. Imasu and Y. Ota: Inter. workshop for greenhouse gas measurement from space, Tokyo (2004)  
“Retrieval of CO<sub>2</sub> vertical profile and columnar concentration from thermal infrared spectrum data”



- 14) R. Imasu and K. Oguma: International Radiation Symposium 2004, Busan.Korea, Abst. pp.174 (2004),  
“Land surface emissivity model combined with CCSR/NIES AGCM”
- 15) Y. Ota and R. Imasu: International Radiation Symposium 2004, Busan.Koria, Abst. pp.67 (2004),  
“Characteristics of spectral emissivity for various types of the surface derived from IMG spectrum data”
- 16) R. Imasu and Y. Ota: SPIE’s 4th Inter. Asia-Pacific Env. Remo. Sensing Symp. Honolulu. USA, 5655-17 (2004)  
“CO2 columnar amount retrieved from thermal infrared spectra observed by IMG/ADEOS”
- 17) Y. Ota and R. Imasu: SPIE’s 4th Inter. Asia-Pacific Env. Remo. Sensing Symp. Honolulu.USA, 5655-17 (2004)  
“Temperature and water vapor retrieval from IMG/ADEOS spectrum data”
- 18) A. Toptygin, K. G. Gribanov, R. Imasu, W. Bleuten, and V. I. Zakharov: SPIE’s 4th Inter. Asia-Pacific Env. Remo. Sensing Symp. Honolulu.USA, 5655-17 (2004)  
“Seasonal methane content in atmosphere of the permafrost boundary zone in Western Siberia determined from IMG/ADEOS and AIRS/AQUA data”
- 19) K.G. Gribanov, R. Imasu, G. Schmidt, A. Toptygin, and V. I. Zakharov, Neural: SPIE’s 4th Inter. Asia-Pacific Env. Remo. Sensing Symp. Honolulu.USA, 5655-17 (2004)  
“Neural network retrieval of deuterium to hydrogen ratio in atmosphere from IMG/ADEOS spectra”
- 20) V.I. Zakharov, R. Imasu, and K. G. Gribanov: SPIE’s 4th Inter. Asia-Pacific Env. Remo. Sensing Symp. Honolulu.USA, 5655-17 (2004)  
“Regarding free energy net of the earth and its monitoring from space concept”
- 21) R. Imasu, S. Saikawa, V.I. Zakharov, K.G. Gribanov, G.Hoffmann, and J. Jouzel: AGU fall meeting, San Francisco.USA (2004)  
“Latitudinal distribution of the deuterium to hydrogen ratio in the atmospheric water vapor retrieved from space FTS data”
- 22) Y. Ota and R. Imasu: 2nd Inter. Workshop on Greenhouse Gas Meas. Space (IWGGMS), Pasadena.USA (2005)  
“CO2 Distribution Extracted from Thermal Infrared FTS Data in Combination with Meteorological Reanalysis Data”
- 23) R. Imasu and Y. Ota: 2nd Inter. Workshop on Greenhouse Gas Meas. Space (IWGGMS), Pasadena.USA (2005)  
“Thermal infrared FTS data as a component of the synergy of GOSAT data”
- 24) Y. Ota and R. Imasu: ASSFTS 12 workshop, Quebec.Canada (2005)  
“CO2 distribution extracted from IMG/ADEOS data in combination with meteorological reanalysis data”
- 25) R. Imasu and Y. Ota: ASSFTS 12 workshop, Quebec.Canada (2005)

- “CO2 columnar concentration retrieved from 10  $\mu\text{m}$  weak absorption band data”
- 26) K.G. Gribanov, R. Imasu, A. Yu. Toptygin, W. Bleuten, and V. I. Zakharov: 7th Atmos. Spectro. Appl. meeting, Reims.France (2005)  
 “Methods and result of CH4 content retrieval in the atmosphere from AIRS/AQUA spectra in far IR”
- 27) N. Saitoh, Y. Ota, S. Taguchi, and R. Imasu: AGU fall meeting, A21D-0898, San Francisco.USA (2005)  
 “Impact of Cloud Occurrence on CO2 Sources/Sinks Inversions Based on Satellite Data”
- 28) R. Imasu, and Y. Ota: AGU fall meeting, A21D-0898, San Francisco.USA (2005)  
 “Columnar and Upper Level CO2 Concentration as Retrieved from IMG/ADEOS Thermal Infrared Data”
- 29) T.Y.Nakajima, A.Higurashi, T.Takamura, .Takenaka, and T.Nakajima: ABC-EAREX2005 Workshop, Kyoto (2005)  
 “Satellite-derived cloud properties over Asian region”
- 30) 太田芳文、今須良一：日本気象学会2005年秋季大会，神戸，予稿集 pp.224 (2005)  
 “衛星搭載熱赤外放射計を用いたCO2濃度解析手法の検討”
- 31) 中島 孝，高村民雄，竹中栄晶，菊地信行：日本気象学会2005年秋季大会，神戸 (2005)  
 “MODISリサンプリング中解像度輝度データセットを用いた領域雲特性解析”
- 32) 中島孝：GLI、そして次世代センサーへ，観測・解析研究会，総合地球環境学研究所 (2005)
- 33) 中島孝，名古屋大学地球水循環研究センター研究会，名古屋 (2005)  
 “衛星観測によって推定される雲特性分布について”
- 34) 中島孝、中島映至、日暮明子：日本リモートセンシング学会第38回学術講演会，東京 (2005)  
 “ADEOS-II/GLIは大気の何を見てきたか”
- 35) 中島孝、中島映至、村上浩、堀雅裕、山本浩万：電子情報通信学会総合大会，東京 (2005)  
 “衛星搭載可視赤外センサーGLIによる地球観測”
- 36) 太田芳文、今須良一：日本気象学会秋季大会 (2005)  
 “衛星搭載熱赤外放射計を用いたCO2濃度解析手法の検討”
- 37) 齋藤尚子、太田芳文、田口彰一、今須良一：日本気象学会2006年秋季大会 (2006)  
 “GOSAT熱赤外FTSセンサーのCO2観測誤差評価”
- 38) 齋藤 尚子，太田 芳文，田口 彰一，今須 良一：日本気象学会2006年秋季大会 (2006)  
 “GOSAT熱赤外FTSセンサーによるCO2 濃度導出”
- 39) 齋藤尚子、太田芳文、田口彰一、今須良一：第17回大気化学シンポジウム (2006)  
 “GOSAT/TANSO-FTS熱赤外領域でのCO2濃度導出手法”
- 40) R. Imasu, Y. Ohno, M. Yasui, H. Kuroiwa, H. Kumagai, and H. Okamoto: 2nd Asia-Pacific Radiation Symposium, Kanazawa.Japan (2006)  
 “Observation of atmospheric parameters using a synergy system consisted of ground-based FTS, LIDAR, and CPR”
- 41) 齋藤尚子、太田芳文、田口彰一、今須良一：日本気象学会秋季大会，予稿集 pp.332，つくば (2006)

- “GOSAT熱赤外FTSセンサーのCO2観測誤差評価”
- 42) 齋藤尚子、太田芳文、田口彰一、今須良一：第17回大気化学シンポジウム，名古屋（2006）  
“GOSAT/TANSO-FTS熱赤外領域でのCO2濃度導出手法”
- 43) N. Saitoh, R. Imasu, S. Taguchi, and Y. Ota: 3<sup>rd</sup> International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space (IWGGMS), 30-31 May, Tsukuba (2006)  
“GOSAT TIR Algorithm”
- 44) Y. Ota, and R. Imasu: 3<sup>rd</sup> International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space (IWGGMS), 30-31 May, Tsukuba (2006)  
“CO2 concentration retrieval from IMG spectrum data”
- 45) R. Imasu, N. Saitoh, Y. Ota, and S. Taguchi: XVth High Res. Molec. Spectros.-2006, Nizhny Novgorod, Russia, 18-21 July (2006)  
“CO2 retrieval performance of TANSO-FTS(TIR) sensor aboard Japanese greenhouse gases observing satellite (GOSAT)”
- 46) A. Yu. Toptygin, K. G. Gribanov and V. I. Zakharov, Y. Kasai, A. Kagawa, Y. Murayama, R. Imasu, G.A. Schmidt, G. Hoffmann, and J. Jouzel: XVth High Res. Molec. Spectros.-2006, Nizhny Novgorod, Russia, 18-21 July (2006)  
“Method and results of retrieval of HDO/H2O in atmosphere from IMG/ADEOS and FTIR data”
- 47) R. Imasu, S. Taguchi, and N. Saitoh: SPIE's 6th Inter. Asia-Pacific Env. Remo. Sensing Symp. Honolulu, Goa, India, 6405-07 (2006)  
“CO2 retrieval performance of GOSAT thermal infrared FTS sensor”
- 48) N. Saitoh, Y. Ota, S. Taguchi, and R. Imasu: SPIE 6th Inter. Asia-Pacific Env. Remo. Sensing Symp., Goa, India, 6405-07 (2006)  
“Assessment of uncertainty in CO2 concentrations retrieved from thermal infrared spectra of GOSAT satellite”
- 49) N. Saitoh, S. Taguchi, R. Imasu: AGU 2006 Fall meeting, A21F-902, San Francisco, USA (2006)  
“CO2 Retrieval Simulation From Thermal Infrared Spectra of GOSAT Satellite”
- 50) Y. Niwa, R. Imasu, S. Maksyutov, and M. Satoh: AGU 2006 Fall meeting, B43B-0270, San Francisco, USA (2006)  
“Using an Icosahedral Grid Model as a Transport Model for Estimating CO2 Sources and Sinks”
- 51) R. Imasu, N. Saitoh, and Y. Niwa: 4th Inter. Workshop on Greenhouse Gas Measurement from Space (IWGGMS), Paris, France (2007) (アブストラクト提出済み)  
“Total performance of CO2 observation by GOSAT FTS-TIR sensor”
- 52) N. Saitoh, R. Imasu, Y. Ota, and Y. Niwa: 4th Inter. Workshop on Greenhouse Gas Measurement from Space (IWGGMS), Paris, France (2007) (アブストラクト提出済み)  
“CO2 and CH4 Concentrations Retrieved from Thermal Infrared Spectra of GOSAT/TANSO-FTS sensor” (アブストラクト提出済み)

- 53) R. Imasu, N. Saitoh, and Y. Niwa: SPIE Europe Remote Sensing, Florence, Italy (2007)  
“Retrieval performance of GOSAT thermal infrared FTS sensor for measuring gas concentrations and cloud properties” (アブストラクト提出済み)
- 54) 今須良一, 齋藤尚子, 太田芳文: 日本気象学会2007年春季大会 (2007)  
“熱赤外スペクトルを用いたCO<sub>2</sub>濃度解析時における気温情報の導入方法“
- 55) 齋藤 尚子, 太田 芳文, 丹羽 洋介, 今須 良一: 日本気象学会2007年春季大会 (2007)  
“リトリーバルチャンネルの選択によるCO<sub>2</sub> 濃度推定精度の向上“
- 56) 齋藤尚子, 今須良一: 日本地球惑星科学連合2007年大会 (2007)  
“GOSAT/TANSO-FTS熱赤外領域でのCH<sub>4</sub>観測誤差評価”

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし