

## 46-2 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

東京大学気候システム研究センター  
中島映至 (teruyuki@ccsr.u-tokyo.ac.jp)

### 1. 研究の目的

本研究の最終目的は、雲自体が作り出す放射強制および、人為起源エアロゾルが間接・直接に引き起こす放射強制の大きさをより正確に評価することである。そのために、能動型センサーである高感度ドップラー雲レーダーと近紫外波長高分解能スペクトルライダーを、受動センサーである可視・赤外イメージャーとフーリエ分光放射計に組み合わせた新しい環境監視手法を確立する。このような新しい監視システムの地上設置型および航空機搭載型を開発して、雲とエアロゾル層の三次元構造と微物理構造の観測を行う。さらにその知見を利用して衛星搭載システムの設計・評価を行う。ここで提案する雲レーダーは波長3ミリのミリ波を利用するものであり、高分解能スペクトルライダーは近紫外波長でのミー散乱と分子散乱を個別に測定することができる。これらのセンサーの投入は、雲研究とエアロゾルの直接・間接効果の研究に画期的な知見をもたらすことが期待される。

このような新しい手法によって、雲とエアロゾル層の微物理特性を水平方向および鉛直方向に詳細に測定する。このデータを気候モデルと組み合わせることによって、高精度で人為起源エアロゾルが引き起こす放射強制を推定する。

### 2. 研究の方法

本研究の目的を達成するために、次の5点にわたって研究を行う。(1)雲レーダーによる雲観測手法高度化とシナジーアルゴリズムの研究、(2)高スペクトル分解ライダー等による雲・エアロゾル観測技術の研究、(3)フーリエ分光器による大気と雲観測、(4)衛星データとモデルによる雲・エアロゾル観測、(5)気候モデルによる雲・エアロゾル相互作用と雲形成の研究。すなわち、雲レーダー、ライダー、フーリエ分光器、イメージャーを組み合わせ、エアロゾルと雲の鉛直方向および水平方向の微物理的構造を調べる。これらの量を大循環数値気候モデルによる再現値と比較することによってモデルの検証と改善を図る。このようなモデルによってエアロゾルの放射強制力を求める。本研究は気候モデルの検証のための新しい観測データを得る観測手法とそのデータ解析手法の確立に重点を置く。また雲レーダーとライダーの衛星搭載システ

ムの検討もを行い、NASA/CLOUDSAT&CAPLIPSOやESA-JAXA/EarthCARE衛星ミッション時代の新しい観測態勢の準備をする。

### 3. 研究の成果

#### 3.1 雲レーダーシステムの開発

パルス型雲レーダーと紫外ミライダーの航空機搭載実験を行って、所定のデータを得た。これらのデータから雲水量と有効粒子半径の鉛直プロファイルを求めるアルゴリズムを開発した。さらに、それを利用して雲中で別の航空機によって得られた当該量と比較した。その結果、雲レーダーとライダー同時解析アルゴリズムによって精度良く雲パラメーターを得られることが明らかになった。現在までに得られているデータを解析したところ、雲量の鉛直プロファイルの検知能は図1のようになった。図は2つの測器を使わなければ5~50%の雲を見失う可能性があることを示している。

また、FMCW型の雲レーダーの長期安定化改造を行い、システムが十分な感度で観測を実行できることを実証した。これによって雲レーダーによる環境モニタリングの道が開かれた。

#### 3.2 高分解能スペクトルライダーの開発

航空機搭載システムを開発して、雲レーダーとの同時観測を実現した。航空機観測結果を解析し、雲レーダーとのシナジー解析のためのデータ処理

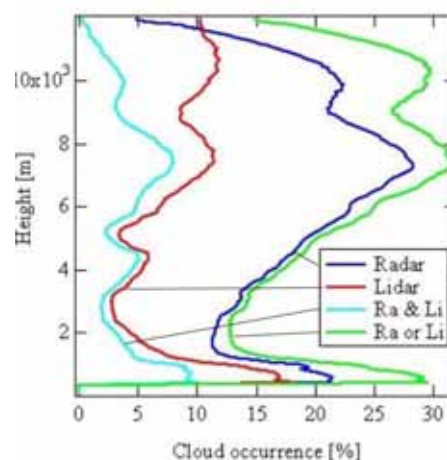


図1. 雲レーダーとライダーを使って得た雲量の雲直分布。どちらかのセンサーでは検知不能の雲がある。

を行なうとともに、ライダーデータのみを用いたエアロゾルの解析を行った。また、装置の性能評価を行い、これに基づいてライダーを2波長化(1064nm、532nm)する改造を行った。2波長化したライダーを用いて海洋研究開発機構のパラオ観測実験(2004年3月)に参加し、名古屋、パラオ間で情報通信研究機構(旧通信総合研究所)の雲レーダーとの同時観測を行った。さらに近紫外域(355nm)の高スペクトル分解能ライダーを開発し、それを用いてエアロゾルの消散係数、ライダー比の鉛直プロファイルの観測を得ることができた。これはアイ・セーフの衛星搭載型ライダーへの道を開くものである。

### 3.3 赤外分光計とイメージャーの利用

ライダー、雲レーダー、フーリエ変換分光計などの複合利用の研究のために、これらの地上からの同時観測を情報通信研究機構において実施した。その結果、赤外放射スペクトルにはアクティブセンサーでは検知が難しい光学的に非常に薄い雲の情報が含まれていることを見出した。

米国の衛星搭載画像センサーMODISの受信生データから準リアルタイムで雲物理量を解析する自動処理システムを開発した。今年度はそのシステムを用いたデータ解析からエアロゾルと雲物理量のデータセットを作成し、統合データセットの一部として蓄積を開始した。これらの解析結果からは、都市域近傍におけるエアロゾル量の多い地域では雲粒径が相対的に小さいというエアロゾル・雲の相互作用が起きていることが確認できた。また地上観測、航空機、観測船みらいに搭載されたライダーと雲レーダー観測点でのマッチアップデータを作成し、両者が良い一致度を示すことを示した。

### 3.4 気候モデルによる雲・エアロゾル相互作用と雲形成の研究

CCSR/NIES大気大循環モデル(AGCM)にカップリングしたSPRINTARSエアロゾル化学輸送モデルを利用して、前節で述べた地上観測データを比較するデータセットを作成した。また、エアロゾルが作り出す雲有効粒子半径と雲水量の変化を様々なパラメタリゼーションについて調査した。その結果、陸域での雲粒子半径を衛星結果に合わせるには、陸域での雲核数を増やす必要があること、対流域と安定成層域での衛星結果との違いを説明するためには、降水過程の時定数を雲粒数に関して非線形化する必要があることを示した。間接効果の放射強制力の現時点の本研究の評価範囲は-0.8 W/m<sup>2</sup>から-1.4 W/m<sup>2</sup>である。

## 4. 今後の課題

ほぼ当初の目的が得られ、アクティブセンサーとイメージャーを組み合わせたシステム構想ができた。EarthCARE衛星ミッションへの知見の提供も行った。しかし、モデルに関しては格子サイズのより小さな非静力学モデルを導入して、雲の生成に関するモデル改良を行う必要があることがわかった。今後は本研究で開発した手法を環境モニタリングシステムの確立を目指す。

## 5. 成果文献

- Iwasaki, S., Y. Tsushima, R. Shirooka, M. Katsumata, K. Yoneyama, I. Matsui, A. Shimizu, N. Sugimoto, A. Kamei, H. Kuroiwa, H. Kumagai, and H. Okamoto, Subvisual cirrus cloud observations using a 1064-nm lidar, a 95 GHz cloud radar, and radiosondes in the warm pool region, *Geophys. Res. Lett.* Vol. 31, L09103, doi:10.1029/2003GL019377, 2004.
- Katagiri, S., and T. Nakajima, 2004: Radiative characteristics of cirrus clouds as retrieved from AVHRR. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 81-99.
- Kawamoto, K., and T. Nakajima, 2003: Seasonal variation of cloud particle size as derived from AVHRR remote sensing. *Geophys. Res. Lett.*, **30**, No. 15, 1810, doi: 10.1029/2003GL017437.
- Okamoto, H., S. Iwasaki, M. Yasui, H. Horie, H. Kuroiwa and H. Kumagai, 2003: An algorithm for retrieval of cloud microphysics using 95-GHz cloud radar and lidar, *J. Geophys. Res.*, **108**(D7, 4226), doi:10.1029/2001JD0001225.
- Nakajima, T., M. Sekiguchi, T. Takemura, I. Uno, A. Higurashi, D.H. Kim, B.J. Sohn, S.N. Oh, T.Y. Nakajima, S. Ohta, I. Okada, T. Takamura, and K. Kawamoto, 2003: Significance of direct and indirect radiative forcings of aerosols in the East China Sea region. *J. Geophys. Res.*, **108**(D23), 8658, doi: 10.1029/2002JD003261.
- Shimizu, A., N. Sugimoto, I. Matsui, K. Arao, I. Uno, T. Murayama, N. Kagawa, K. Aoki, A. Uchiyama, and A. Yamazaki, 2004: Continuous observations of Asian dust and other aerosols by polarization lidar in China and Japan during ACE-Asia, *J. Geophys. Res.*, **108**(D19), D19S17, doi:10.1029/2002JD003253.