

赤道大気垂直構造の観測を目的とした多機能ライダーシステムの構築

Construction of sophisticated lidar system for observation of vertical structure of equatorial atmosphere

長澤親生、阿保 真、柴田泰邦
Chikao Nagasawa, Makoto Abo, and Yasukuni Shibata

東京都立大学大学院・工学研究科
Tokyo Metropolitan University

Abstract

The lidar observation project of atmospheric structure over troposphere, stratosphere, mesosphere and low thermosphere above Kototabang (100.3E, 0.2S), Indonesia in the equatorial region has started from 2001. The lidar facility consists of the Mie and Raman lidars for tropospheric aerosol, water vapor and cirrus cloud measurements, the Rayleigh lidar for stratospheric and mesospheric temperature measurements and the Resonance lidar for metallic species and temperature measurements in the mesopause region. In this paper, we present the details of the sophisticated lidar system and some preliminary data obtained from the Mie lidar system.

1. はじめに

西太平洋地域のインドネシア上空の対流圏、中間圏の大気は、地球規模の大気運動の中で非常に重要な役割を果たしている。しかし、対流圏のエアロゾル、雲、水蒸気の垂直構造や成層圏の垂直温度構造は、低緯度[1]でのいくつかの観測を除いて、赤道域では十分測定されていない。さらに、中間圏界面領域における金属原子や温度構造の興味深く重要な現象（例えば sporadic 金属層[2]、中間圏界面の温度逆転層、大気重力波など）が中・高緯度において見られるが、赤道上空におけるこれらの現象についての観測データはほとんど無い。本プロジェクトでは、数種類のライダーを統合した多機能ライダーシステムによって、広い高度範囲を高い高度分解能で上記の現象を測定する。このライダーシステムにより得られた広い高度範囲の多くの有用なデータにより、ダイナミックな赤道大気の下結合プロセスの理解が進むと期待される。

2. ライダーシステム

ライダーシステムのブロック図と仕様をそれぞれ Fig.1 と Table 1 に示す。ライダーシステムは、対流圏観測のためのミーライダーとラマンライダー、成層圏と中間圏の温度観測のためのレイリーライダー、中間圏界面領域の金属元素と温度観測のための共鳴散乱ライダーから成る。我々は、インドネシアの Kototabang (100.3° E, 0.2° S) に設置されている EAR (赤道大気レーダ) の敷地内にライダー観測所を構築している。その外観写真を Fig. 2 に示す。ライダー観測所の向こうには EAR のアンテナ群が見られる。

この高機能ライダーに用いられるレーザシステムは、3つのパルス Nd:YAG レーザ、リング Ti:サファイヤレーザでインジェクションシーディングされたパルス Ti:サファイヤレーザ、色素レーザから成る。受光システムは、口径 20cm と 35cm のシュミットカセグレン望遠鏡と口径 45cm の5つのニュートン型反射望遠鏡から成る。

3. ライダーの遠隔制御システム

このライダーシステムの大半は、都立大学からインターネットによって遠隔制御される。コントロールシステムを設計するにあたり、以下のような日本と Kototabang 間の通信環境の特性、インドネシアの自然環境、複雑なライダーシステムの特性等を考慮する必要がある。

- (1) 用いる衛星通信回線は、比較的低速度 (40~90kbps) で、遅延時間が大きく (0.2~0.4s)、雨や停電の頻度が高く信頼性が低い。
- (2) 専用回線ではなくインターネット回線であるためプロトコルの規制や外部攻撃からの保護を考慮しなければならない。
- (3) ライダーシステムは、レーザの波長をチューニングしたり複数の受光系を使うなど高機能であり、制御要素が多く複雑である。

(1)と(2)を考慮し、遠隔操作は基本的に GUI (グラフィカル・ユーザ・インタフェース) を用いず、コマンドベースの命令によって行う。ライダーシステムは基本的に自立した制御システムとし、遠隔操作機能は必要な制御指示やパラメータの設定に限定している。Fig. 3 に遠隔制御ライダーシステムのブロック図を示す。インドネシアでは長短の停電が頻発し電源の質も良くないため、常時給電方式の大型 UPS を使い、機器の損傷と観測の中断を防ぐとともに、停電が長引いた時も全ての機器が遠隔操作で再起動出来るようにしている。レーザのパラメータは遠隔設定ができ、安全確認のために複数のカメラで状況をモニターすることができる。ネットワークセキュリティのために制御項目については SSH (Secure SHell) により Linux サーバに接続してから遠隔操作を行うようになっているが、ハードウェアとのインターフェースのためには Windows 2000 ベースのコンピュータを併用している。更に Windows 2000 上にも SSH をインストールすることにより、直接プログラムのアップデートや起動が可能となっている。また、低価格高感度 CCD カメラと画像処理技術を用いた受信光学系の視野とレーザ照射領域の光軸自動調整システムも開発している。

4. 観測対象

このライダーサイトでは以下の対象のルーチン観測を行う予定である。

- (1) 共鳴散乱ライダーによる中間圏界面領域の金属原子層 (Na, Fe, K, Ca イオン等) 構造
- (2) 狭帯域共鳴散乱ライダーによる中間圏界面領域の温度構造
- (3) レイリーライダーによる成層圏～中間圏の夜間と昼間の温度構造
- (4) ミーライダーによる対流圏の雲とエアロゾル層の構造
- (5) ラマンライダーによる対流圏の水蒸気プロファイル

5. 初期観測結果

本観測に先駆け、小型ライダーによる対流圏のエアロゾルと雲観測を、2003 年 11 月から始めた。2004/2 からは昼夜連続観測を行っているが更に順次改良を加え現在も順調に連続観測を行っている。更に 2004/5 より、観測モードの変更を行い、フォトンカウントとアナログモードを併用することにより対流圏全域の観測が可能になり、小型ライダーでも特にシーラスや対流圏界面付近のエアロゾルの高精度な測定が可能となった。Fig. 4 に対流圏から成層圏までの各モードをつないだ例を示す。

6. まとめ

インドネシア上空熱帯域の対流圏、成層圏、中間圏及び下部熱圏のライダー観測プロジェクトは、2001 から始まった。全ライダーシステムは、2004 年度中に完成の予定で、ルーチン観測は、2007 年 3 月まで続けられる予定である。今後データが得られ次第、同じ場所で観測を行っている赤道大気レーダ、気象レーダ、ラジオゾンデ、流星レーダ、VHF レーダ、大気光観測装置等との比較を行う予定である。

謝辞

このプロジェクトは、文部科学省科学研究費補助金の特定領域研究「大気上下結合」の 6 つあるサブプロジェクトの 1 つとして行われている。

参考文献

1. Kumar, V. S. et al., Lidar measurements of stratosphere-mesosphere thermal structure at a low latitude: Comparison with satellite data and models, *J. Geophys. Res.*, Vol. 108, ACL9-1-11, 2003.
2. Nagasawa, C. and M. Abo, Lidar observations of a lot of sporadic sodium layers in mid-latitude, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.22, No.3, pp.263-266, 1995.

Table 1 Specifications of the lidar system

Target	Laser Wavelength	Laser Energy	Telescope Aperture	Data Acquisition
Rayleigh	532nm	800mJ	45cm x 5	Photon Count
H ₂ O Raman	532nm	800mJ	35cm	Photon Count
Na	589nm	100mJ	45cm x 5	Photon Count
Fe & Temperature	372nm	50mJ	45cm x 5	Photon Count
K	770nm	200mJ	45cm x 5	Photon Count
Ca ion	393nm	50mJ	45cm x 5	Photon Count
Aerosol & Cloud	532nm	10mJ	20cm	Analog / Photon Count

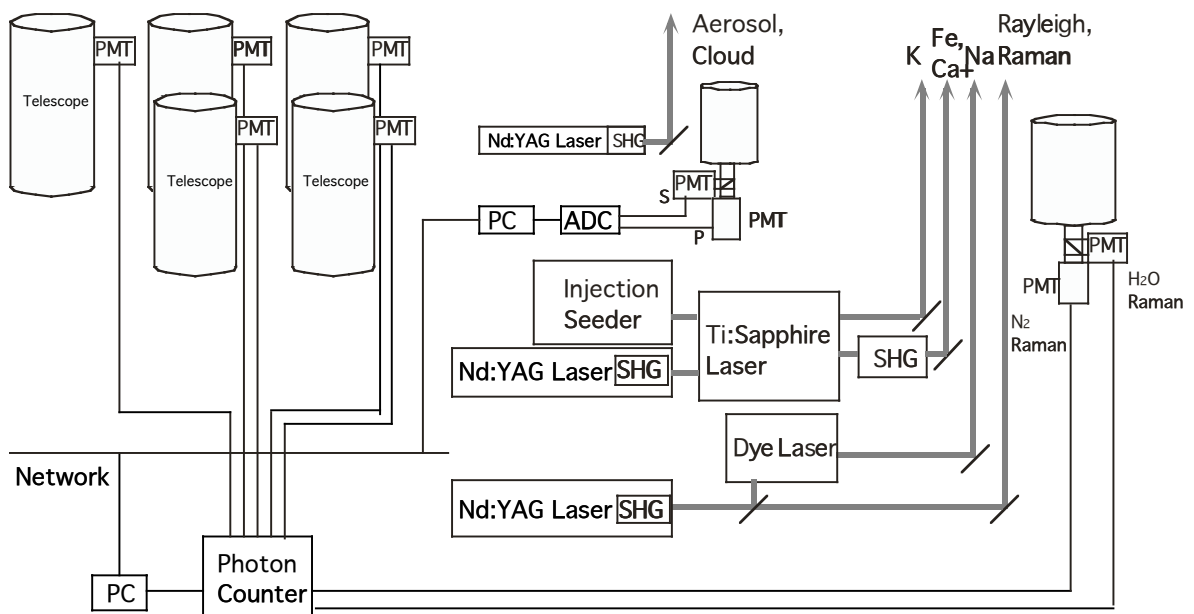


Fig. 1 Block diagram of the lidar system.



Fig. 2. Photograph of lidar facility at Kototabang (100.3E, 0.2S)

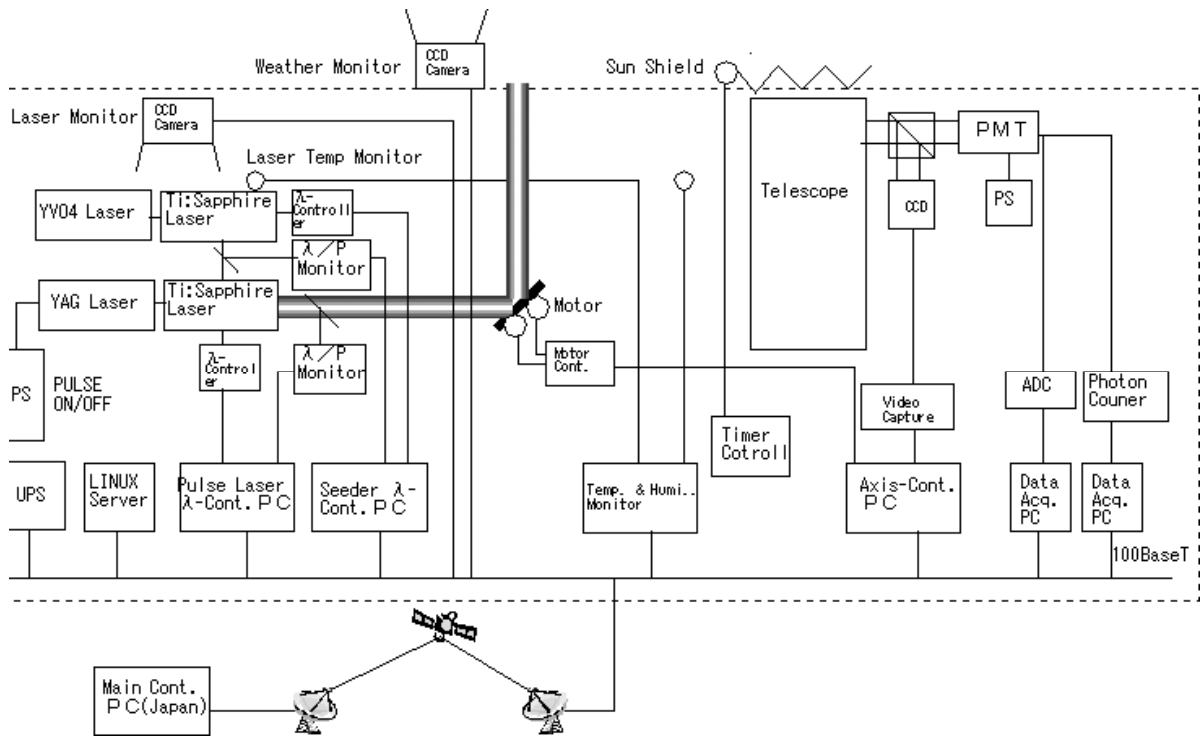


Fig. 3. Block diagram of remote controlled lidar system

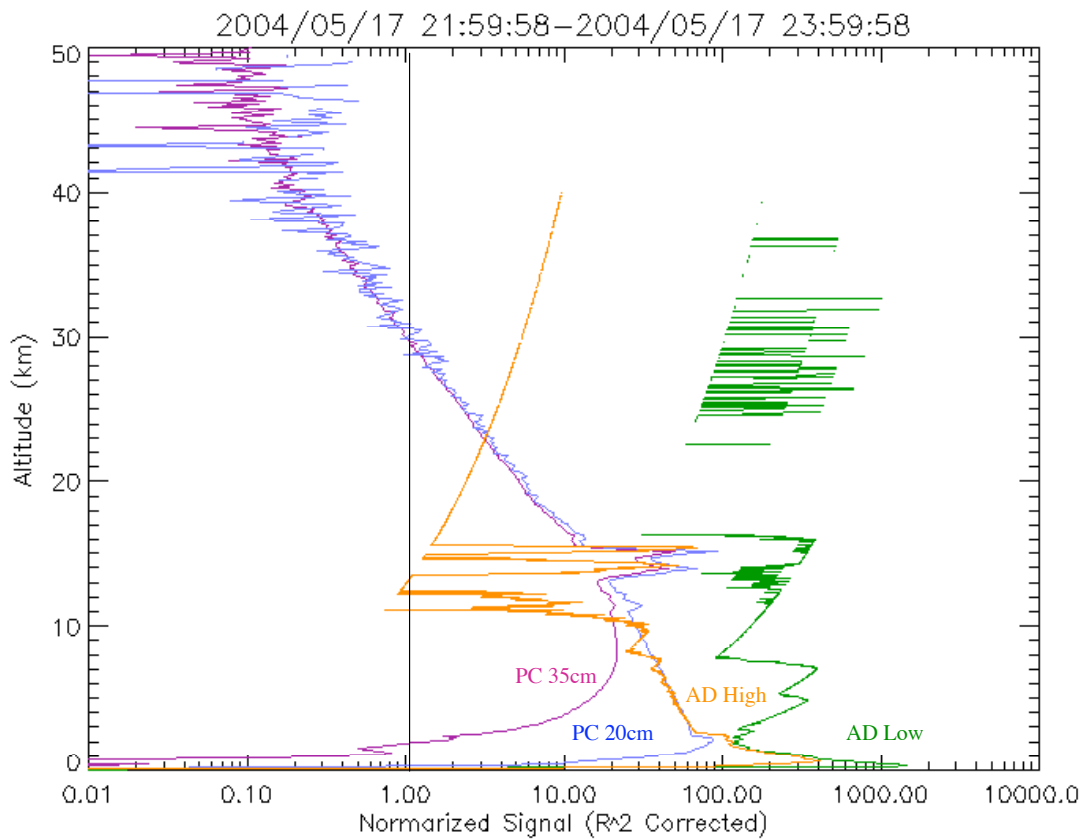


Fig. 4. Combination of multi channel data acquisition observed at Kototabang