

計画研究項目 A05

「大型高機能ライダーの開発と赤道大気鉛直構造の観測」

1. 研究組織

研究代表者：長澤 親生（首都大学東京システムデザイン研究科・教授）
研究分担者：阿保 真（首都大学東京システムデザイン研究科・教授）
柴田 泰邦（首都大学東京システムデザイン研究科・助教）

2. 他班との連携状況

他の班とはデータ交換を中心として以下のように連携した。A01 班とはミーライダーで得られた雲底及び雲頂データと E A R の鉛直風データとの比較を行い、対流圏中層の非降水雲の微物理的特性と鉛直変動の関連を調べた。A03 班とはミーライダー及びラマンライダーのデータと水蒸気ラジオメータのデータを用いて対流圏の水蒸気分布の解析を行った。さらに A04 班及び A06 班とは、中間圏界面領域に発生する sporadic 金属層の解析に際し、ライダーデータと流星レーダーによる水平風データ及び V H F レーダーによる F A I 観測データの比較解析を行った。

3. 当初の設定目標とその達成度

本研究は、遠隔制御型大型高機能ライダーを開発し、インドネシアに設置することにより、赤道域での成層圏上部から下部熱圏までの鉛直温度構造と中間圏界面近傍の金属原子層の連続観測および、熱帯積雲対流活動などに重要な役割を担う水蒸気の鉛直分布の観測を行い、対流圏から熱圏下部までの大気上下結合や中間圏界面付近の複雑な力学・化学反応過程の理解に不可欠な観測情報を得ることを目的とした。基本的には当初の予定通りライダーをインドネシアに設置し、上層については天候の関係から連続観測データは少ないが、3年間に渡って多くの観測データを得ることに成功し、目標を達成した。以下に当初設定した各課題に対する達成状況と達成度を示す。

課題 1：高性能波長可変レーザーの開発

中間圏界面付近の金属原子およびイオン層やその領域の温度を観測するライダーの中心となる高性能波長可変レーザーを開発し、インドネシアに設置した。但しインドネシアに設置した温度観測用のレーザーは機器トラブルを起こしたため観測方式は当初計画より一部変更した。（達成度 90%）

課題 2：ライダー遠隔制御システムの開発

赤道域の遠隔地に設置するライダーシステムのメンテナンスを容易にするた

めに、複数の小型望遠鏡を組み合わせることで実効受光面積を増やす技術、並びにインターネット回線を通して、遠隔地からライダーの調整並びにデータ取得を可能とする遠隔制御システムのハードウェア・ソフトウェアの開発を行った。このシステムにより、世界初の遠隔制御による大型ライダーの運用に成功した。
(達成度 100%)

課題 3 : 赤道設置用大気観測ライダーシステムの構築

課題 1 で開発したレーザー及び課題 2 で開発した受信系並びに遠隔制御システムをベースに、ライダーシステムを開発し EAR の観測所内に設置した。このシステムは、中間圏界面付近の金属原子・イオン密度及び大気温度を観測する共鳴散乱ライダー、成層圏から中間圏の大気温度測定用のレイリーライダー、対流圏水蒸気測定用のラマンライダー及び対流圏の雲やエアロゾルを測定するミーライダーから成る。小型のライダーシステムを計画より先行して設置し、随時拡張することにより、計画より早く対流圏エアロゾルや雲のデータを取得する事が出来た。また当初予定した全ての観測項目の測定に成功した。但し、予想以上に夜間の晴天率が低かったため、成層圏より上層のデータ取得率は低かった。(達成度 95%)

課題 4 : 中間圏界面の温度構造・組成構造の解明

課題 3 で開発したライダーシステムを用い、赤道上空の金属原子 (Fe,K,Na) 密度及び大気温度を観測した。研究期間内には、天候の関係から Ca イオンの観測が間に合わなかったが、引き続き観測体制を継続している。赤道域での継続的な金属原子層のライダー観測は世界初であり、スプラディック原子層の特性などの新しい発見が得られた。(達成度 90%)

課題 5 : 対流圏の湿潤熱帯大気構造の解明

課題 3 で開発したライダーシステムを用い、対流圏内の雲、エアロゾル、水蒸気プロファイルを観測し、赤道直下での対流活動と雲の発生等の変動を調べた。特に雲、エアロゾルについては、2004 年から約 3 年間の昼夜連続観測データが得られた。また、Sub-Visible Cirrus の特性、対流圏界面での対流圏—成層圏の物質交換などを詳細に調べるために、当初の計画に加えてライダーの受信系を強化してデータの取得を行った。赤道域における貴重なライダー連続観測データが得られ、解析がそれに追いつかない状況であるが、ラマンライダーによる夜間水蒸気混合比の短時間変動(周期 10-20 分)、中層雲と高層雲の発生頻度の解明、地表付近のエアロゾル層 (PBL) の解析等を行った。(達成度 90%)

4. 主な研究成果 (予想を超えた成果)

(1) 赤道域スプラディック Na,Fe 層の成因の解明

中間圏界面領域に発生するスプラディック Na 層の発生高度とウィンドシアの

高度の相関は当初の予想に反して中緯度のように顕著ではなく、夜半前より夜半過ぎの方がウィンドシアとの相関が低いことがわかった。また、電離層のスホラディック E 層や E 層 FAI との相関も必ずしも顕著ではなかった。赤道域のスホラディック Na 層の発生機構は中緯度と異なると推測されるが、赤道独自の発生機構は現在検討中である。

(2) 中間圏、成層圏の温度構造の特徴

レイリーライダーにより得られた温度プロファイルから、中間圏全域で MS-ISE モデルより温度が高く、75~85km で中間圏逆転層 (MIL) が多く見られた。また、成層圏界面にはダブルピーク構造がみられた。

(3) バックグラウンド成層圏エアロゾルと QBO の連動

赤道上空の成層圏エアロゾル層の上端高度が、観測当初の 2004 年には中緯度のデータなどから予想した高度より高く 40km にも達していたが、その後 QBO に伴う東西風ウィンドシアに連動して 30km まで降下する様子がライダーにより初めて捕らえられた。

(4) 海洋大陸上での中層雲の発生頻度

小型ミーライダーによる約 3 年間にわたる連続観測結果から、従来熱帯海洋上の高度 5-7km 付近で観測されていた中層雲が、海洋大陸であるインドネシアの上空においても雨季の夜間を中心に発生することが明らかとなった。

(5) ライダーにより得られた対流圏の励起・伝搬スペクトルの特性

小型ミーライダーの連続観測データから、MJO 活発期と不活発期に分けて、地表付近の散乱比 (高度 1.5~4km) 及び雲の発生頻度 (高度 4~16km) のスペクトル解析を行った。その結果、MJO の不活発期 (対流抑制期) には周期約 12 日の変動が地表付近から高度 16km まで連続して見られ、一方 MJO の活発期 (対流活発期) には、1 日周期が地表付近から高度 16km まで見られるがその他の周期は高度方向には連続して見られなかった。これらの変動は赤道域対流圏における波動の励起源とその伝搬をライダーにより初めて捉えたものと考えられる。

5. 他の研究分野に与えたインパクト

2006 年 6 月から観測が開始された NASA の衛星搭載ライダー (CALIPSO) が 16 日周期で昼夜間各 1 回ずつインドネシア上空を通過する。昼間は 14 時頃にコトタバンまで約 3km の至近地点を、夜間は 2 時頃にコトタバンの東方 80km の

地点を通過する。これまでに小型ライダーで昼間 12、夜間 10 の計 22 例、大型ライダーで 1 例の同時観測に成功している。今後データの比較によりお互いのデータ校正、雲のパラメータ推定が可能となり、雲の放射収支への寄与の正確な推定に役立つと期待される。

6. 研究成果公表の状況

| | |
|---------|---|
| 学術誌論文： | 12 件（A05 班が主体となって発表したもの） 2 件（他班の発表に協力したもの） |
| 国際会議主催 | 23rd International Laser Radar Conference (第 23 回レーザレーダー国際会議) 期間 2006 年 7 月 24～28 日 場所 奈良県新公会堂 参加国と参加者 30 か国から 275 名 (内、国内参加者 95 名) |
| 国際会議発表 | 25 件 |
| 国内学会等発表 | 94 件 |

A05班 「大型高機能ライダーの開発と赤道 大気鉛直構造の観測」 成果報告

長澤親生、阿保真、柴田泰邦
首都大学東京

当初の設定目標とその達成度

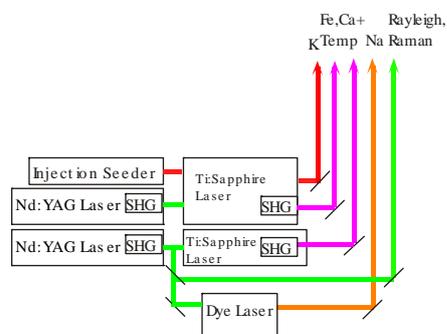
本研究の設定目標

遠隔制御型大型高機能ライダーを開発し、インドネシアに設置することにより、赤道域での成層圏上部から下部熱圏までの鉛直温度構造と中間圏界面近傍の金属原子層の連続観測および、熱帯積雲対流活動などに重要な役割を担う水蒸気の鉛直分布の観測を行い、対流圏から熱圏下部までの大気上下結合や中間圏界面付近の複雑な力学・化学反応過程の理解に不可欠な観測情報を得ることを目的とした。

達成度

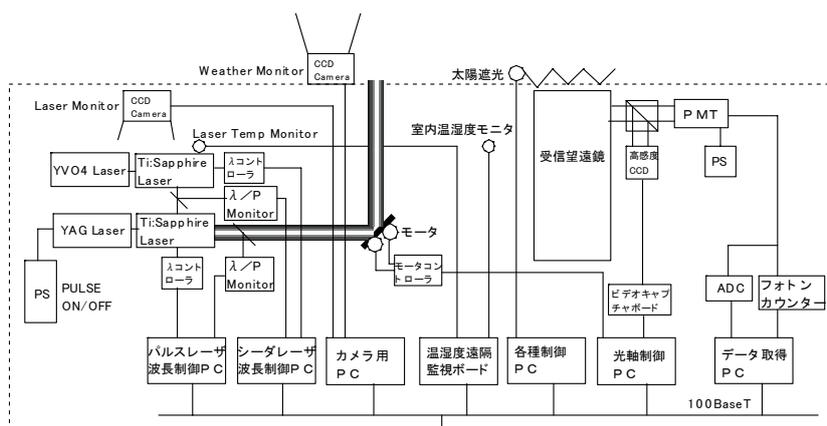
基本的には当初の予定通りライダーをインドネシアに設置し、上層については天候の関係から連続観測データは少ないが、3年間に渡って多くの観測データを得ることに成功し、目標を達成した。

高性能波長可変レーザーの開発



中間圏界面付近の金属原子およびイオン層やその領域の温度を観測するライダーの中心となる高性能波長可変レーザーを開発し、インドネシアに設置した。但しインドネシアに設置した温度観測用のレーザーは機器トラブルを起こしたため観測方式は当初計画より一部変更した。

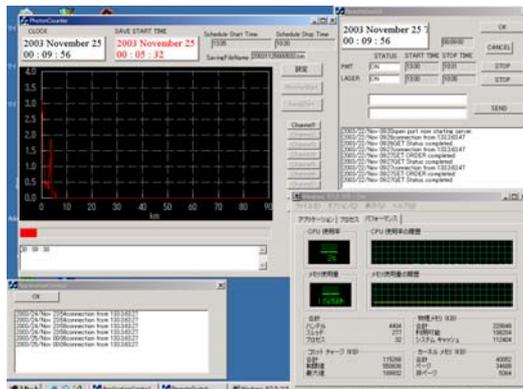
ライダー遠隔制御システムの開発



インターネット回線を通して、遠隔地からライダーの調整並びにデータ取得を可能とする遠隔制御システム

ライダー遠隔制御システムの開発

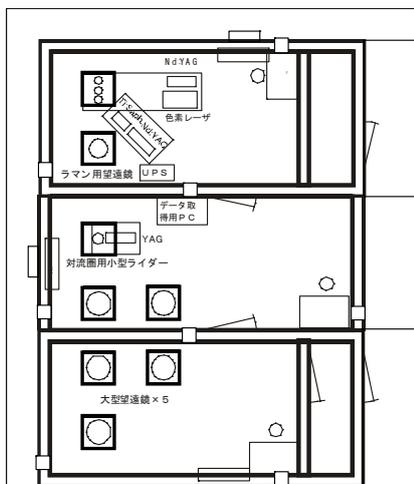
遠隔設定、モニター可能なデータ取得
プログラムの開発



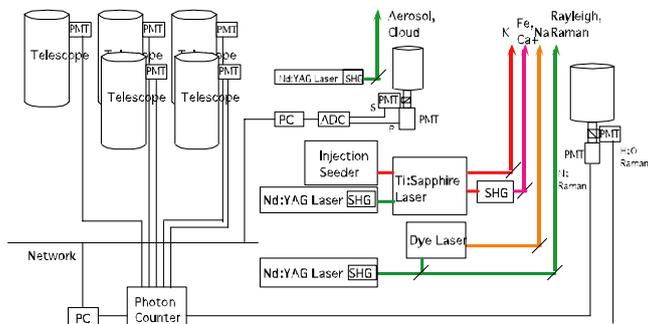
このシステムにより、世界初の遠隔制御による大型ライダーの運用に成功した。

赤道設置用大気観測ライダーシステムの構築

課題1で開発したレーザー及び課題2で開発した受信系並びに遠隔制御システムをベースに、ライダーシステムを開発しEARの観測所内に設置した。



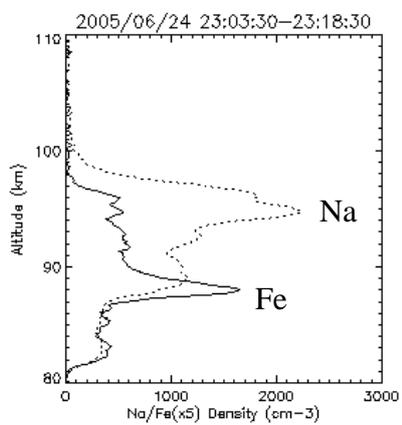
赤道設置用大気観測ライダーシステムの構築



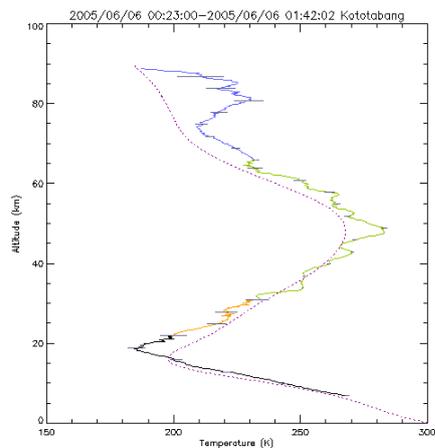
| Target | Laser Wave-length | Laser Energy | Telescope Aperture | Data Acquisition |
|------------------------|-------------------|--------------|--------------------|------------------|
| Rayleigh | 532nm | 500mJ | 45cm x 4 | Photon Count |
| H ₂ O Raman | 532nm | 500mJ | 35cm | Photon Count |
| Na | 589nm | 5mJ | 45cm x 1 | Photon Count |
| Fe | 372nm | 20mJ | 45cm x 3 | Photon Count |
| Fe-Temperature | 372/374nm | 20mJ | 45cm x 3 | Photon Count |
| Aerosol & Cloud | 532nm | 10mJ | 20cm | Analog |

赤道設置用大気観測ライダーシステムの構築

中間圏界面の金属原子・イオン密度、
大気温度を観測する共鳴散乱ライダー

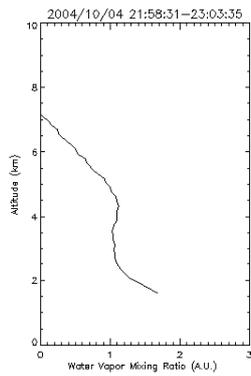


成層圏から中間圏の大気温度測定用の
レイラーライダー

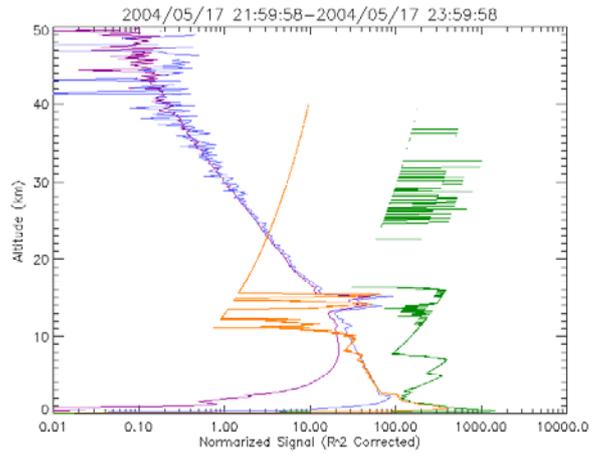


赤道設置用大気観測ライダーシステムの構築

対流圏水蒸気測定用の
ラマンライダー



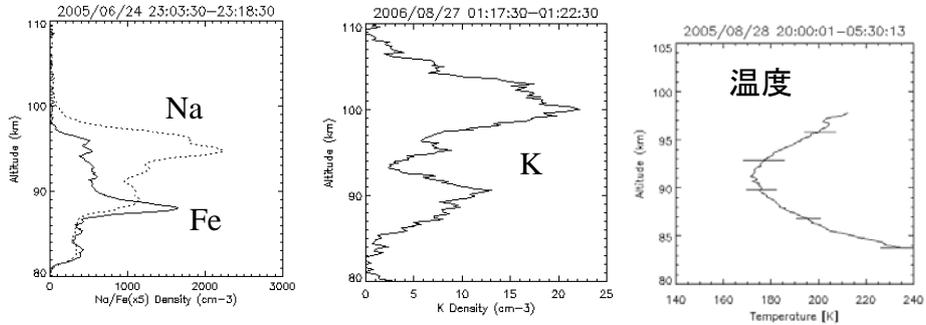
対流圏の雲やエアロゾルを測定するミールライダー



小型ライダーシステムを計画より先行して設置し、計画より早く対流圏エアロゾルや雲のデータを取得する事が出来た。当初予定した全ての観測項目の測定に成功した。

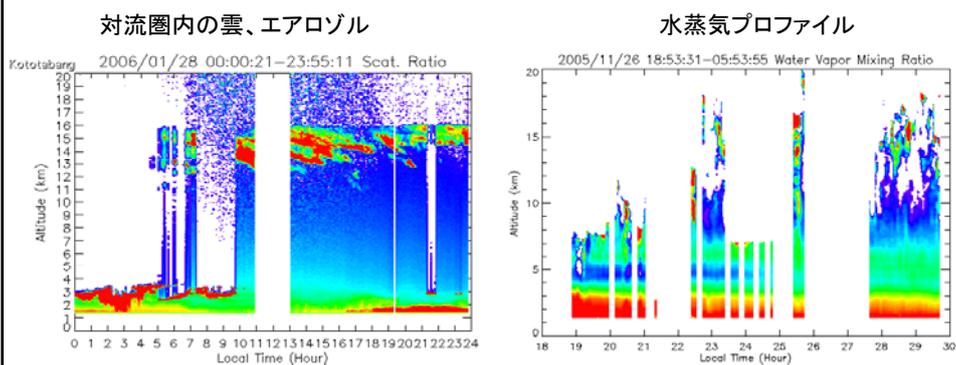
主な観測成果

中間圏界面の温度構造・組成構造の観測



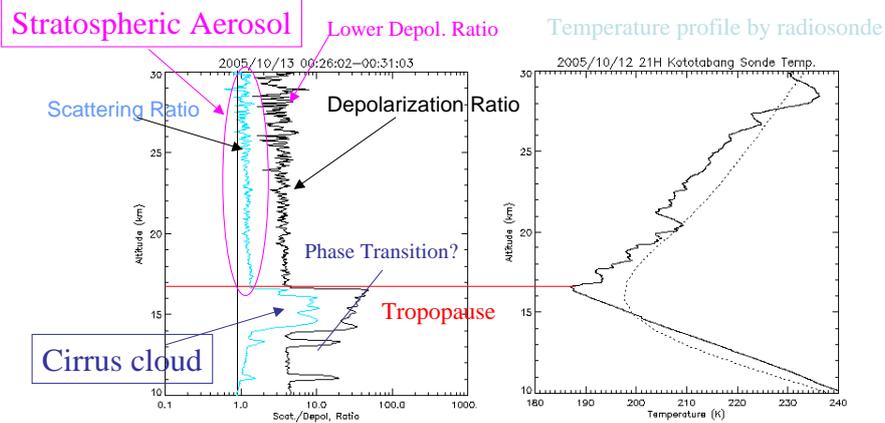
課題3で開発したライダーシステムを用い、赤道上空の金属原子(Fe,K,Na)密度及び大気温度を観測した。研究期間内には、天候の関係からCaイオンの観測が間に合わなかったが、引き続き観測体制を継続している。赤道域での継続的な金属原子層のライダー観測は世界初であり、スプラディック原子層の特性などの新しい発見が得られた。

対流圏の湿潤熱帯大気構造の観測



課題3で開発したライダーシステムを用い、対流圏内の雲、エアロゾル、水蒸気プロファイルを観測し、赤道直下での対流活動と雲の発生等の変動を調べた。特に雲、エアロゾルについては、2004年から約3年間の昼夜連続観測データが得られた。

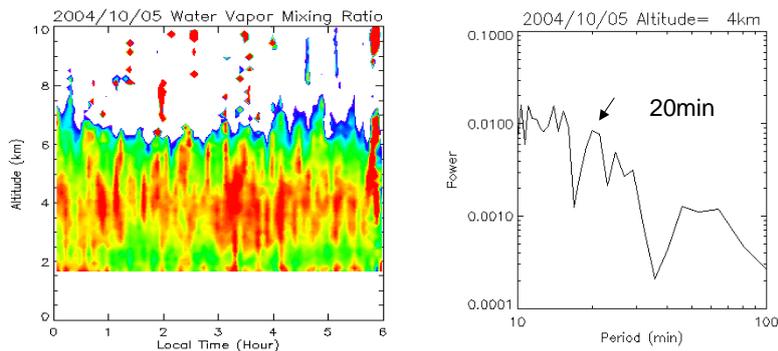
対流圏界面のエアロゾル観測



Sub-Visible Cirrusの特性、対流圏界面での対流圏—成層圏の物質交換などを詳細に調べるために、当初の計画に加えてライダーの受信系を増強してデータの取得を行った。

対流圏の水蒸気分布観測

ラマンライダーによる夜間水蒸気混合比の短時間変動(周期10-20分)

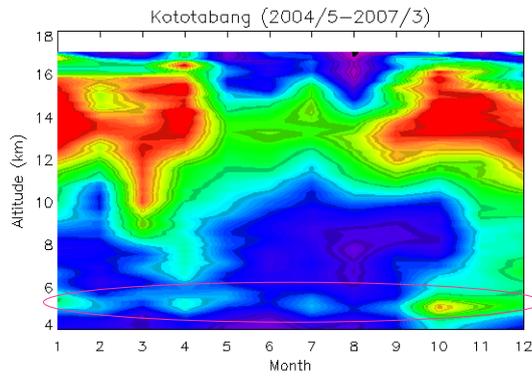


- ・同様の周期が変動が弱いながらも、Mieライダーにもみられた。
- ・この変動はセル構造を時間変動としてライダーで捉えているものと考えている。

その他中層雲と高層雲の発生頻度、地表付近のエアロゾル層(PBL)の解析、対流圏全域にわたるスペクトル解析を行った。

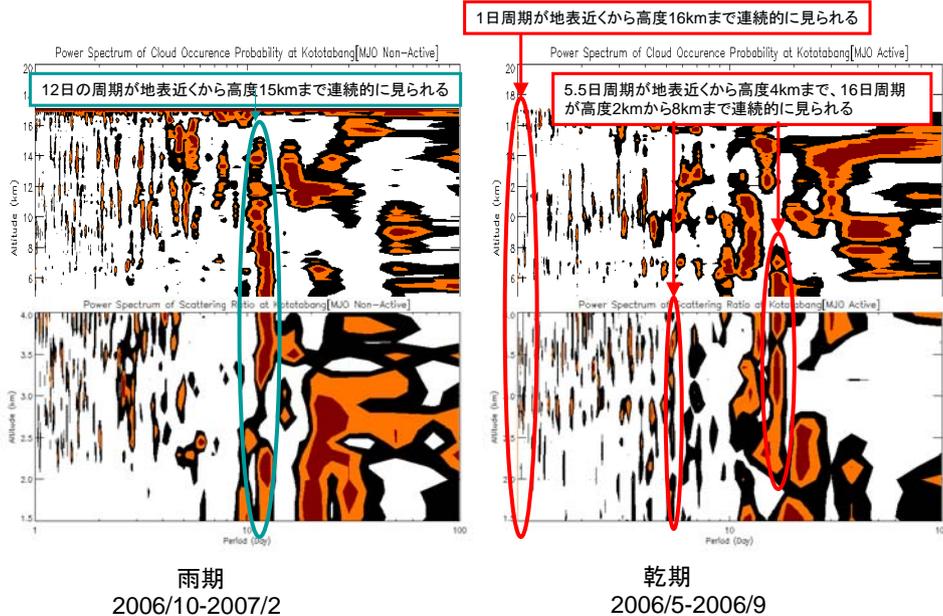
海洋大陸上での中層雲の発生頻度

各高度の雲発生頻度の季節変化(2004/5-2007/3)



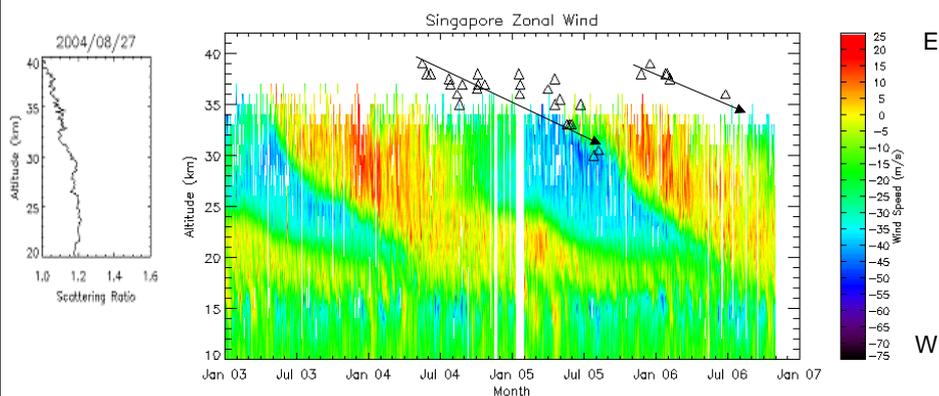
・小型ミーライダーによる約3年間にわたる連続観測結果から、従来熱帯海洋上の高度5-7km付近で観測されていた中層雲が、海洋大陸であるインドネシアの上空においても雨季の夜間を中心に発生することが明らかとなった。

ライダーにより得られた対流圏の励起・伝搬スペクトルの特性



バックグラウンド成層圏エアロゾルとQBOの連動

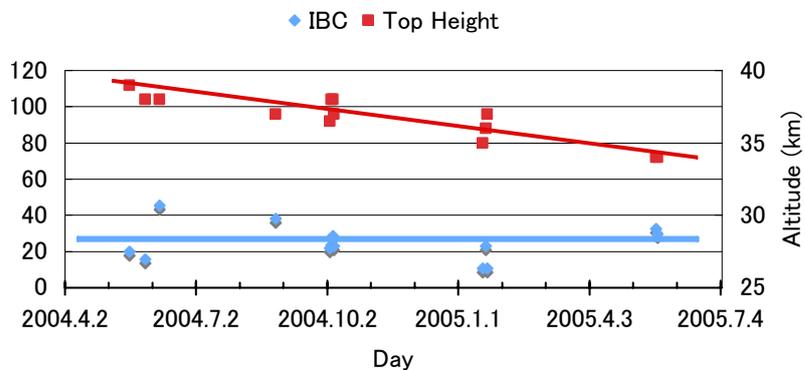
シンガポールのラジオゾンデ観測による東西風の高度断面図とKototabangで観測された成層圏エアロゾル層の上端高度(△)



赤道上空の成層圏エアロゾル層の上端高度が、観測当初の2004年には中緯度のデータなどから予想した高度より高く40kmにも達していたが、その後QBOに伴う東西風ウィンドシアに連動して30kmまで降下する様子がライダーにより初めて捕らえられた。

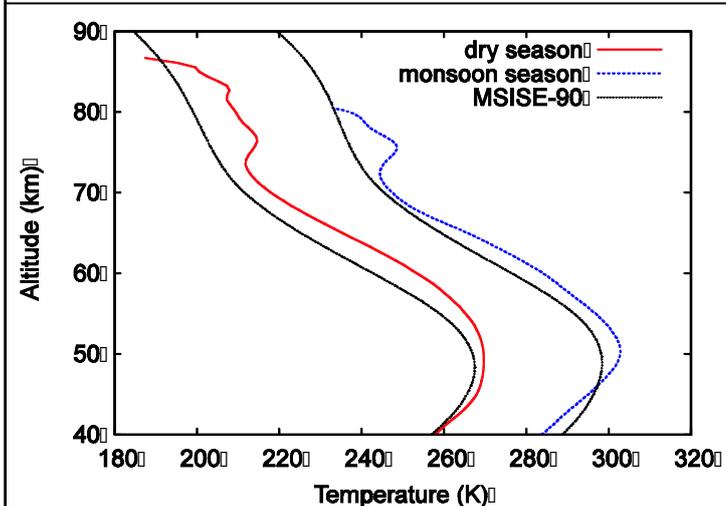
バックグラウンド成層圏エアロゾルとQBOの連動

Kototabang上空の成層圏エアロゾル層の高度20kmより上端までの散乱係数の積分値の変化
上端高度は下がっているが積分値は減少していない。



中間圏、成層圏の温度構造の特徴

レイリーライダーから得られた平均温度プロファイル

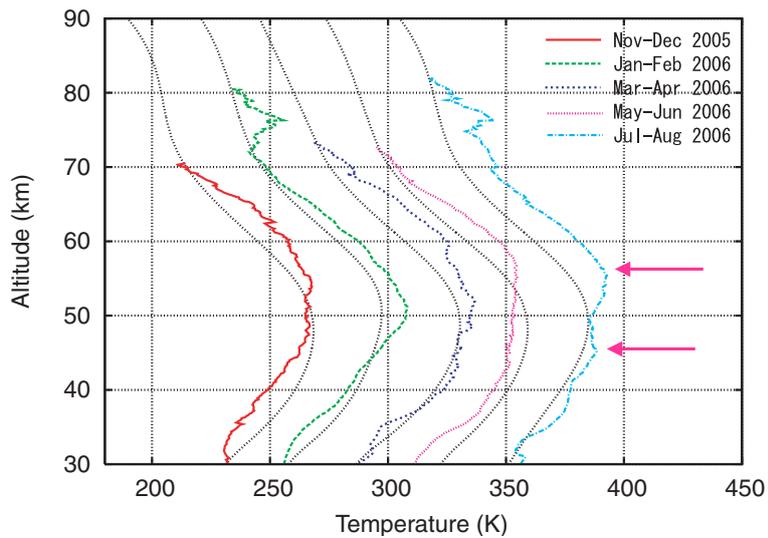


Observations :
25 nights from
October 2004
to July 2006

・レイリーライダーにより得られた温度プロファイルから、中間圏全域でモデルより温度が高く、75～85kmで中間圏逆転層(MIL)が多く見られた。

中間圏、成層圏の温度構造の特徴

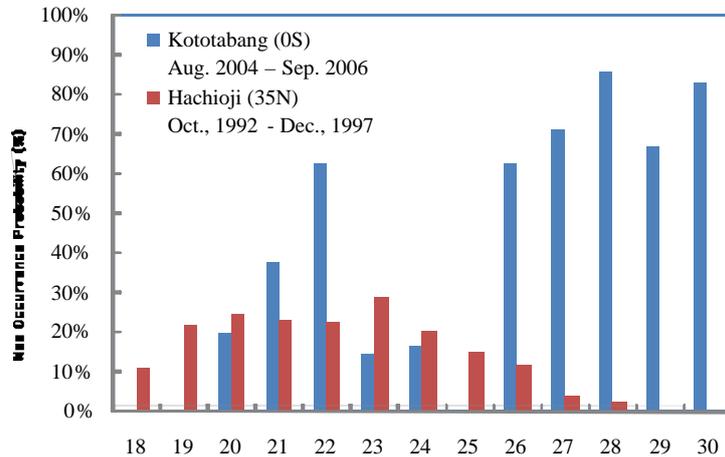
レイリーライダーから得られた2ヶ月平均温度プロファイル



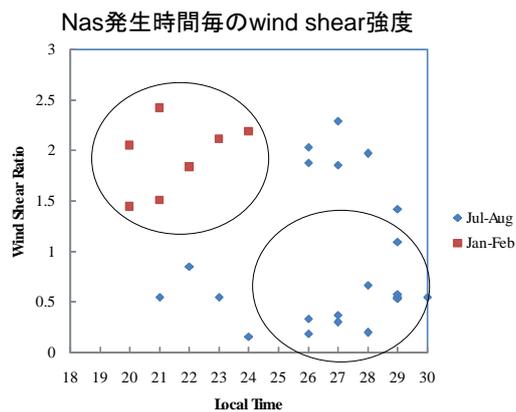
・成層圏界面にはダブルピーク構造がみられた。

赤道域スプラディックNa,Fe層の観測

八王子とコタバンのsporadic Na層発生確率の地方時特性
赤道では明け方に多く発生している。



赤道域スプラディックNa,Fe層の成因



- ・中間圏界面領域に発生するスプラディックNa層の発生高度とウィンドシアの高度の相関は当初の予想に反して中緯度のように顕著ではなく、夜半前より夜半過ぎの方がウィンドシアとの相関が低いことがわかった。
- ・電離層のスプラディック E層やE層FAIとの相関も必ずしも顕著ではなかった。
- ・赤道域のスプラディックNa層の発生機構は中緯度と異なると推測されるが、赤道独自の新たな発生機構を構築する必要性が示された。

研究班組織と他の班との連携状況

研究代表者:長澤 親生(首都大学東京システムデザイン研究科・教授)
研究分担者:阿保 真(首都大学東京システムデザイン研究科・教授)
柴田 泰邦(首都大学東京システムデザイン研究科・助教)

他の班との連携状況

・A01班 ミーライダーで得られた雲底及び雲頂データとEARの鉛直風データとの比較を行い、対流圏中層の非降水雲の微物理的特性と鉛直流変動の関連を調べた。

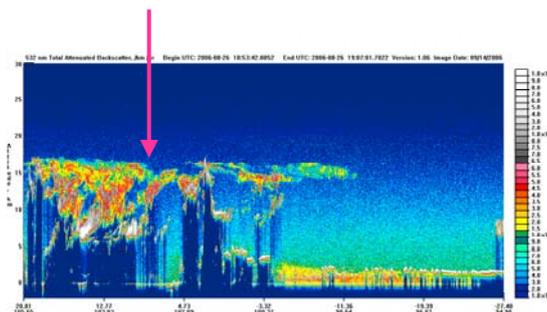
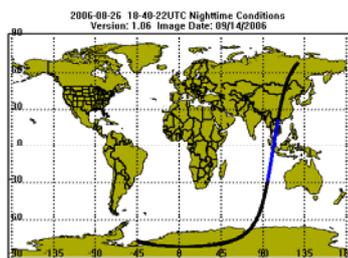
A03班 ミーライダー及びラマンライダーのデータと水蒸気ラジオメータのデータを用いて対流圏の水蒸気分布の解析を行った。

A04班・A06班 中間圏界面領域に発生するsporadic金属層の解析に際し、ライダーデータと流星レーダーによる水平風データ及びVHFレーダーによるFAI観測データの比較解析を行った。

他の研究分野に与えたインパクト

衛星搭載ライダー(CALIPSO)データとの比較

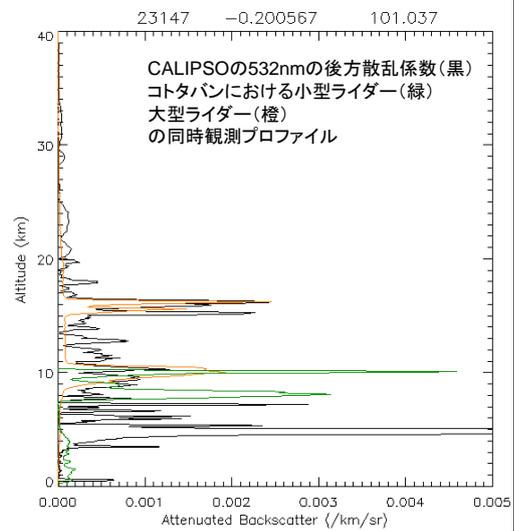
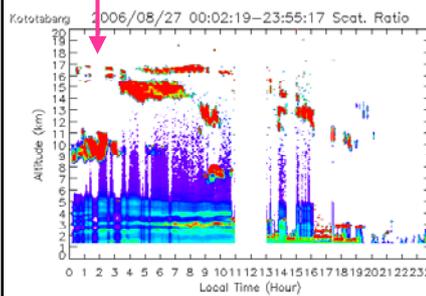
CALIPSOの観測データ
(2006/8/26UT: 532nmの後方散乱係数)



・2006年6月から観測が開始されたNASAの衛星搭載ライダー(CALIPSO)が16日周期で昼夜間各1回ずつインドネシア上空を通過する。

CALPSO接近時のコタバンにおけるミーライダー観測結果

2時が再接近時



研究成果公表状況

査読付学术论文等 12件
(その他投稿中2件)

国際会議発表 25件

国内学会等発表 94件

レーザーレーダー国際会議(2006)