

# 赤道大気レーダーとミーライダーによる熱帯域中層雲の鉛直流観測

## Vertical air motion in midlevel shallow-layer clouds observed by 47-MHz wind profiler and 532-nm Mie lidar

山本真之<sup>1</sup>, 阿保真<sup>2</sup>, 岸豊久<sup>1</sup>, 西憲敬<sup>3</sup>, 山本衛<sup>1</sup>, 橋口浩之<sup>1</sup>, 深尾 昌一郎<sup>4</sup>

M. K. Yamamoto, M. Abo, T. Kishi, N. Nishi, M. Yamamoto, H. Hashiguchi, and S. Fukao

1: 京大大学生存圏研究所, 2: 首都大学東京システムデザイン学部, 3: 京都大学理学研究科, 4: 福井工業大学

1: Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University,

2: Faculty of System Design, Tokyo Metropolitan University, 3: Graduate School of Science, Kyoto University,

4: Fukui University of Technology

### Abstract

Variations of vertical air velocity ( $W$ ) in the midlevel shallow-layer clouds are described by a case study observed at West Sumatra, Indonesia (0.2°S, 100.32°E) in the nighttime between 8 and 9 May 2004. By receiving echoes from refractive index irregularities,  $W$  and spectral width ( $\sigma_w$ ), used as a proxy of  $W$  turbulence, were observed both in clear and cloud regions using frequency power spectrum obtained by a 47-MHz wind profiler with 150-m vertical resolution. Using altitude profiles of received signal intensity of a 532-nm Mie lidar ( $P_{\text{lidar}}$ ), altitudes with significantly larger  $P_{\text{lidar}}$  than below (or above) were considered as cloud regions. Most of the shallow-layer clouds were observed between 6.0 and 8.5 km MSL. In the top part of clouds (~0-500 m below the estimated cloud tops), downward  $W$  up to ~0.2-0.3 m s<sup>-1</sup> and  $\sigma_w$  up to ~0.5-0.6 m s<sup>-1</sup> were observed. In the middle part of clouds (~500-1000 m below the estimated cloud tops),  $W$  showed large variations. Both the standard deviation of  $W$  during the observation period and  $\sigma_w$  were large (~0.5-0.7 m s<sup>-1</sup>). These results demonstrate that a combination of VHF wind profiler and lidar is useful to observe wind variations in and around midlevel shallow-layer clouds with high time and vertical resolutions. Altitude profiles of temperature observed by radiosondes showed that the air was absolutely stable near the top part of clouds and conditionally stable below. Possible relationship between  $W$  and temperature is discussed.

### 1.はじめに

積雲対流活動が活発なインド洋から西太平洋にかけて発生する雲は大気の放射収支に重要な影響を与えるため、その様態把握が地球環境モニタに重要である。西太平洋で実施されたラジオゾンデや気象レーダーの観測により、熱帯域の対流の到達高度は、対流圏界面近傍(高度 15-16 km)・trade inversion に対応する高度 2km 前後・0°C 層近傍の高度 5km 付近にピークを持つことや、対流の到達高度に対応した温度構造が示されている。そのため対流圏中層(4-10 km 程度)にも対流の消え残り等に起因する雲が存在し、その多くは降水を伴わない非降水雲である。しかし、対流圏中層の非降水雲の生成・維持メカニズムは観測が十分でないため理解が進んでいない。非降水雲内の諸過程の理解において、雲粒の鉛直方向輸送を決定する鉛直流の測定手段は限られているため、鉛直流観測の重要性は高い。本報告では、インドネシア・スマトラ島の赤道大気観測所(南緯 0.2 度、東経 100.32 度、海拔高度 865 m) に設置された、VHF 帯レーダーとミーライダーによる非降水雲内の鉛直流変動に関する観測結果を示す。

### 2. 観測データ

生存圏研究所とインドネシア航空宇宙庁が運用する赤道大気レーダー(Equatorial Atmosphere Radar; EAR)は、VHF 帯(47 MHz)の中心周波数で運用されるドップラーレーダーである。EAR は、温度や水蒸気変動に起因する屈折率擾乱からエコーを受信し、エコーの周波数パワースペクトルからドップラーシフトを計測することで風速を測定する。そのため、大気の鉛直方向の運動である鉛直流( $W$ )を雲の内外を問わず観測可能である。鉛直方向に指向したビームから得られた鉛直流及び周波数パワースペクトルのスペクトル幅( $\sigma_w$ )のデータを用いた。 $\sigma_w$ は、EAR の観測分解能である約 80 秒、及び高度 8 km で水平約 170 m、鉛直 150 m での風速擾乱を表す。スペクトル幅はピーク値からの半値(3 dB)全幅で定義した。

首都大学東京が運用するミーライダーは、雲粒からの強いミー散乱を受信することにより雲粒の存在高度を観測する。今回の観測に用いたミーライダーは波長 532 nm(可視光:緑)を使用し、1回あたり 10 mJ、10 回/秒のパルス出力を行った。このミーライダーは観測対象に応じていくつかの受信系を用いるが、本報告では中層雲観測用の直径 20 cm 望遠鏡と PMT で構成される受信機を用いた解析結果を示す。鉛直分解能は 150 m、時間分解能は 10 分である。

### 3. 観測結果

ミーライダーの受信信号において、雲内は雲粒からのミー散乱が、雲外は大気分子またはエアロゾルからのレイリー散乱が卓越する。一般に雲内のミー散乱はレイリー散乱より大きい。この特徴を用いて、ミーライダーの受信強度の傾きから雲頂の高度と雲底の高度を見積もった。雲粒からのミー散乱によると考えられる受信強度の増加(傾きの負から正への符号変化)が発生する高度を雲底とした。また、雲底より上方の、ミー散乱からレイリー散乱への変化により負の傾きが閾値以下になる高度を雲頂とした。推定した雲底と雲頂の高度は、ラジオゾンデで測定された相対湿度の

雲底付近の急激な増加及び雲頂付近の急激な減少とそれぞれよく対応していた(図なし)。

ライダーの後方受信散乱強度  $P_{\text{lidar}}$  (図 a) と  $W$  及び  $\sigma_w$  の高度プロファイル (図 b) を比較する。雲の中層から上層にかけての高度 7.3-7.8 km に、 $0.3 \text{ m s}^{-1}$  以上の大きな  $\sigma_w$  の擾乱が観測された。さらに、雲の上層である高度 7.9-8.2 km において、大きな  $\sigma_w$  の擾乱に加えて最大で  $0.7 \text{ m s}^{-1}$  に達する大きい下降流が観測された。また、気球(ラジオゾンデ)で測定された温度の高度プロファイル (図 c) から計算した温度減率 (図 d) は、 $\sigma_w$  の増大が見られる高度 7.3-7.8 km で大気が条件付き不安定であることを示していた。また、 $\sigma_w$  の増大に加えて下降流が卓越する高度 7.9-8.2 km では、温度減率は大気が絶対安定またはそれに近い条件であったことを示していた。雲の上層における大気安定度の増大は、放射冷却に伴う下降流が生成されたことを示唆する。また、雲の上層(高度 7.9-8.2 km)における  $\sigma_w$  の増大は、放射冷却が小スケールの対流不安定を発生させたことを示唆する。また、雲の中層(高度 7.3-7.8 km)における条件付き大気不安定は、対流不安定の発生に伴う  $W$  の擾乱が発生したことを示唆する。このような非降水雲の上昇流は小さい(平均値として  $0.1 \text{ m s}^{-1}$  またはそれ以下のオーダー)ため、雲の中層では  $\sigma_w$  に見られるように、大気擾乱・放射冷却・蒸発冷却によると考えられる下降流も観測されている。

#### 4. まとめ

本報告の成果は、以下の論文に詳細が述べられています (Abstract ご参照ください)。論文の別刷りをご希望の方は、京大生存研山本真之 (m-yamamo@rish.kyoto-u.ac.jp) にご連絡ください。

Yamamoto, M. K., M. Abo, T. Kishi, N. Nishi, T. H. Seto, H. Hashiguchi, M. Yamamoto, and S. Fukao, Vertical air motion in midlevel shallow-layer clouds observed by 47-MHz wind profiler and 532-nm Mie lidar: Initial results, *Radio Sci.*, **44**, RS4014, doi:10.1029/2008RS004017, 2009.

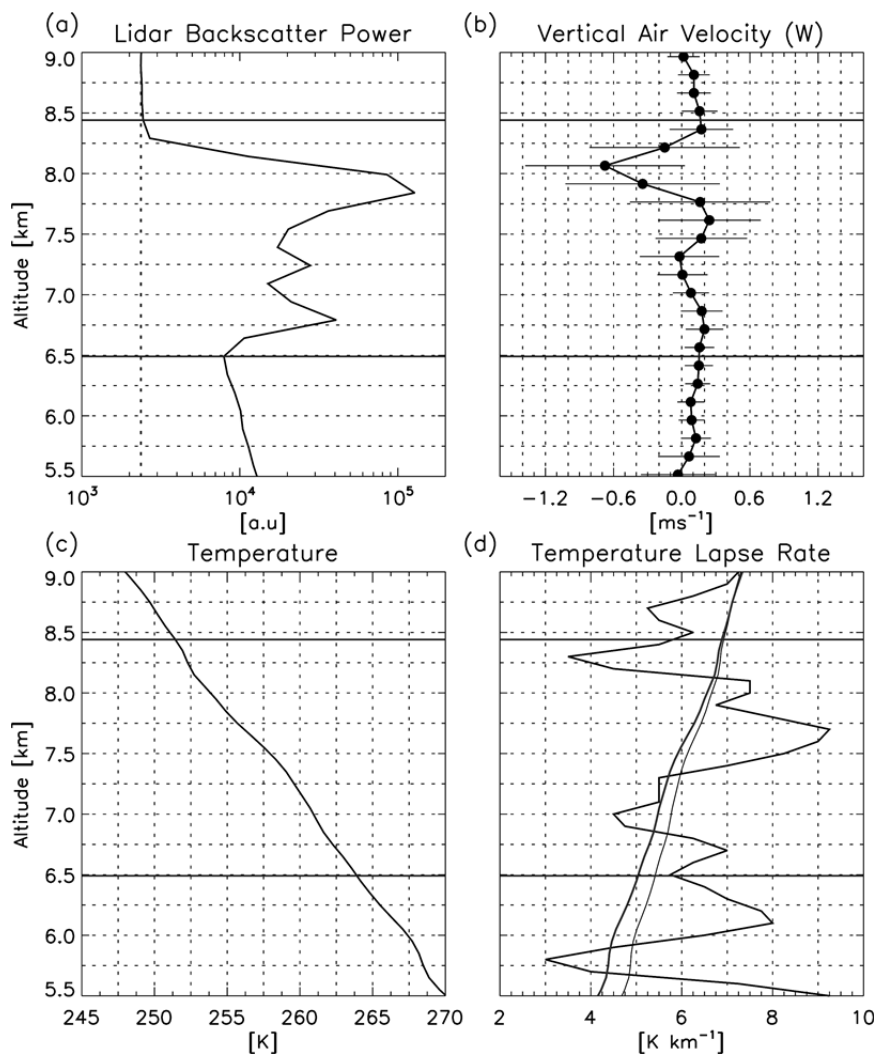


Fig. : (a) Altitude profile of  $P_{\text{lidar}}$  averaged during 0100-0110 LST 9 May. Vertical dashed line indicates the noise level. (b) Altitude profiles of  $W$  (circles) and  $\sigma_w$  (error bars). (c) Altitude profile of temperature obtained by the radiosonde located at 5.5-9.0 km during 0058-0109 LST 9 May. (d) Altitude profiles of temperature lapse rate (thick black), moist-adiabatic lapse rate for water (thin black), and moist-adiabatic lapse rate for ice (gray). In each panel, estimated cloud top and bottom altitudes are plotted by gray horizontal lines.