

山本真之¹, 岸豊久¹, 中村卓司¹, 西憲敬², 山本衛¹, 橋口浩之¹, 深尾 昌一郎^{1,3}

M. K. Yamamoto, K. Kishi, T. Nakamura, M. Yamamoto, H. Hashiguchi, and S. Fukao

1: 京大大学生存圏研究所, 2: 京都大学大学院理学研究科, 3: 東海大学総合科学技術研究所

1: Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University, 2: Graduate School of Science, Kyoto University, 3: Research Institute of Science and Technology, Tokai University

Abstract

Wind variations around the top of midlatitude cirrus clouds are presented by a case study at the Shigaraki MU Observatory (136°06'E, 34°51' N) in the nighttime during 5-6 November 2004. Altitude profiles of vertical and horizontal wind velocities were observed by VHF-band (46.5 MHz) Doppler radar referred to as the MU radar. Altitude profiles of backscattering coefficient were observed by Rayleigh/Raman lidar to determine cloud region.

Cloud-top height as observed by the lidar was about 10.5 km around 1900 LT 5 November, and then gradually descended to 8.5 km around 0500 LT 6 November. Zonal wind observed by the MU radar showed a similar descending feature with time; westerly wind observed by the MU radar with 12-min and 150-m resolutions showed a rapid increase with altitude, and was almost always larger than 25 m s⁻¹ above about 1 km higher than the cloud tops.

1.はじめに

対流圏上層の氷雲(巻雲)は、対流圏の広い領域を覆うため地球の放射収支に大きく影響する。巻雲の放射効果を正しく数値モデルで再現するためには、巻雲に関連する微物理及び力学過程の観測による、巻雲の生成・維持・消失のメカニズムの解明が重要である。VHF 帯大気レーダーは、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、受信した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により風速を測定する。そのため、雲の内外を問わず大気の上方向の風速(鉛直流)及び水平方向の風速(水平風)大気風速を数分・数 100m より優れた分解能で観測可能な特長を持つ。ライダーは数 μm 以上の大きさを持つ雲粒と同程度あるいは短い波長を持つ光を送信することにより雲粒子を検出する。そのため、VHF 帯レーダーでは検出が困難な非降水雲中の粒径の小さい雲粒の鉛直分布を観測可能である。そのため、滋賀県甲賀市の信楽 MU 観測所(136°06'E, 34°51'N)に設置された VHF 帯大気レーダー(MU レーダー)とライダー観測により、中緯度域巻雲内及びその周辺の風速変動を調べた。本報告では 2004 年 11 月 5 日から 6 日の夜間にかけての観測事例を述べる。

2. 観測データ

MU レーダーは中心周波数 46.5 MHz(波長 6.45 m)で運用されており、直径 103 m のほぼ円形に配置された 475 本の三素子八木アンテナで構成されるアクティブフェーズドアレイアンテナを備えている。観測は振幅の小さい鉛直流を精度良く取得するため鉛直方向にのみビームを指向した観測モードと、水平風を観測するために鉛直方向と東西南北の 5 方向にビームを指向した観測モードを切り替えて実施した。水平風と鉛直流の高度プロファイルは約 4 分毎に取得した。鉛直分解能は 150 m である。

レイリー／ラマンライダーの送信波長は 532.25 nm であり、1回あたり 600 mJ、50 回/秒のパルス送信を実施した。高度分解能は 72 m である。光学的厚さは、回転ラマンチャネル(531.14 nm 及び 528.76 nm)の観測データから温度依存性のない参照信号を計算し、さらに参照信号の雲内の減衰を計算することにより求めた。雲の後方散乱係数は、以下の手順で求めた。最初に、弾性チャネルと参照信号より後方散乱比(大気からのレイリー散乱に対する大気及び雲からのレイリー散乱の比)の高度プロファイルを求めた。次に、求めた後方散乱比と、ラジオゾンデ観測から得られた大気分子の後方散乱係数の高度プロファイルを用いて、雲の後方散乱係数を算出した。

3. 観測結果

図 1 は 2004 年 11 月 5 日 1800LT から 6 日 0600LT における、ライダーで観測された雲の後方散乱係数と MU レーダーで観測された東西風の時間高度断面図を示す。雲頂を定める雲の後方散乱係数の閾値は 0.0002 sr km⁻¹ とした。巻雲の雲頂高度は 5 日 1900 LST では 10.5 km である。雲頂高度は 2100 LST 付近では 10.3 km であるが、時間の経過とともに次第に低下し、6 日 0000 LST 付近では 9.8 km、0500 LST 付近では 8.5 km となる。時間の経過に伴う雲頂高度の低下と、西風が 25 m s⁻¹ 以上となる下端の高度の低下はよく対応していた。西風は雲頂すぐ上(数 100 m)の高度で、高度とともに西風が増加する大きな鉛直シアを示し、雲頂の 1 km より上ではほぼ常に 25 m s⁻¹ より大きい。

図 2 は光学的厚さの時系列を示す。雲の光学的厚さは、0.06 から 1.58 の範囲にあり、その平均値は 0.60 であった。この結果は、観測された雲の大部分が、光学的厚さが 0.3 から 3.0 である opaque cirrus であることを示している。

4. まとめ

本報告では、風速の鉛直プロファイルの高い鉛直・時間分解能で観測可能な VHF 帯大気レーダーとレイリー/ラマンライダーの同時観測により、中緯度上部対流圏の巻雲内の雲頂付近における風速変動の詳細を示した。東西風の時間高度変動は雲頂高度の時間高度変動と良い関連を持っており、大気波動等に起因する熱力学的過程が数時間スケール以下での巻雲の維持・消失に大きく影響することを示唆している。現在観測事例を蓄積中であり、雲内及び周辺の力学過程と雲微物理過程の関連に、将来は踏み込んでいきたいと考えている。

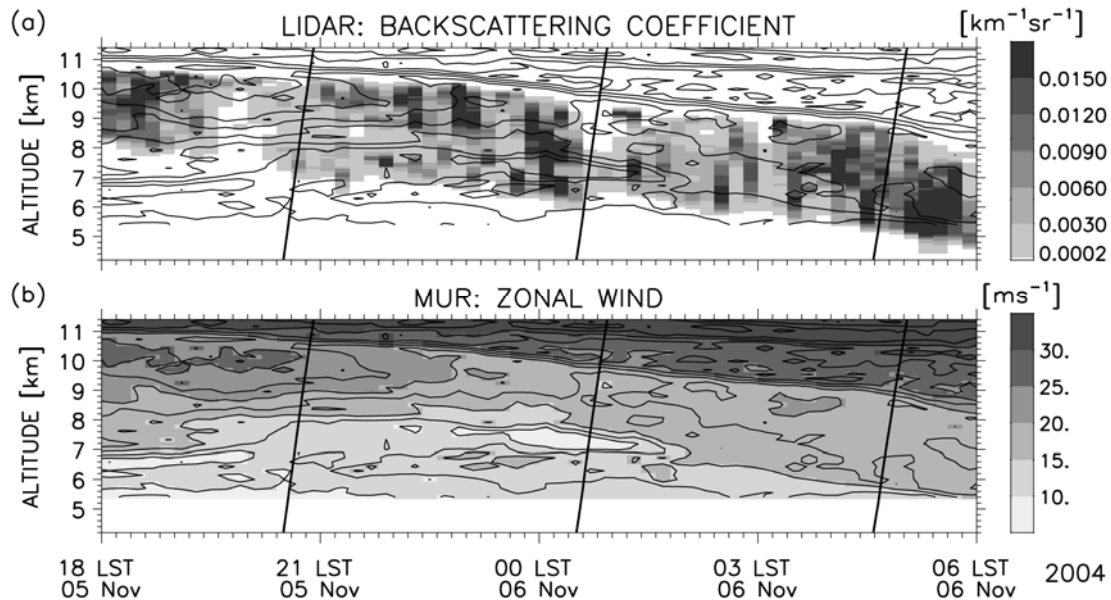


Fig. 1: (Upper panel) Time-altitude plot of cloud backscatter coefficient (shaded) observed by the lidar from 1800 LT 5 November to 0600 LT 6 November 2004. Solid contour in the upper panel are the same as that in the lower panel. (Lower panel) Time-altitude plot of zonal wind observed by the MU radar. Positive values show westerly (eastward) wind. Cloud backscatter coefficient and zonal wind were averaged every 12 minutes.

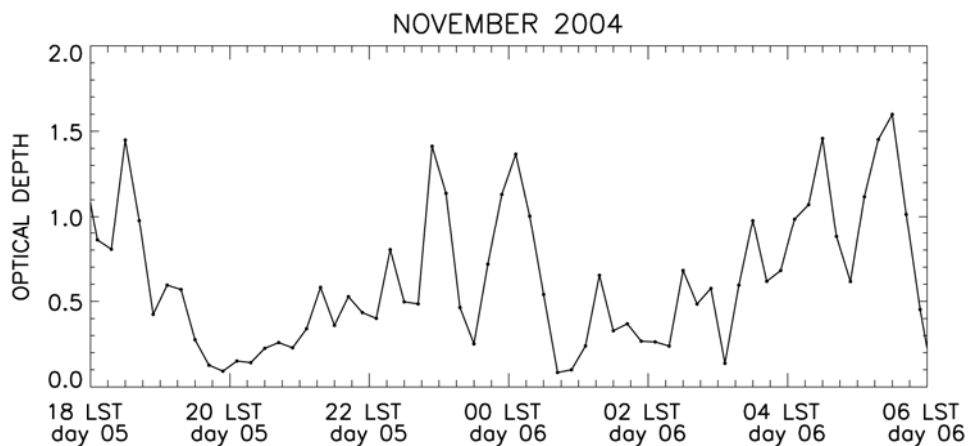


Fig. 2: Time series of cloud optical depth observed by the pure-rotational channel of the lidar from 1800 LT 5 November to 0600 LT 6 November 2004. Cloud optical depth was averaged every 12 minutes.