

# The sedimentation of subvisual cirrus clouds observed by a lidar

## ライダにより観測された subvisual cirrus clouds の沈降

Suginori Iwasaki<sup>#1</sup>, Yoko Tsushima<sup>#1</sup>, Ryuichi Shirooka<sup>#1</sup>, Masaki Katsumata<sup>#1</sup>,  
Kunio Yoneyama<sup>#1</sup>, Akihide Kamei<sup>#2</sup>, Atsusi Shimizu<sup>#2</sup>, Ichiro Matsui<sup>#2</sup>,  
Nobuo Sugimoro<sup>#2</sup>, Hiroshi Kumagai<sup>#3</sup>, Hajime Okamoto<sup>#4</sup>

岩崎杉紀<sup>#1</sup>, 対馬陽子<sup>#1</sup>, 城岡竜一<sup>#1</sup>, 勝俣昌己<sup>#1</sup>, 米山邦夫<sup>#1</sup>,  
亀井秋秀<sup>#2</sup>, 清水厚<sup>#2</sup>, 松井一郎<sup>#2</sup>, 杉本伸夫<sup>#2</sup>, 熊谷博<sup>#3</sup>, 岡本創<sup>#4</sup>

#1: JAMSTEC, 海洋研究開発機構, #2: NIES, 国立環境研究所,  
#3: NICT, 情報通信研究機構, #4: Tohoku Univ., 東北大学

### Abstract

The sedimentation rate of the subvisual cirrus clouds (SVC) was measured by a lidar installed on R/V Mirai. The rate is found to be 3cm/s and it is consistent with the theoretical terminal velocity at a height of 16.5km. The growing rate of ice crystals in SVC is also discussed. Though SVC were measured at a height of 17km, SVC were hard to be produced at that height due to the lowest vapor pressure. Thus the temperature anomalies and the relative humidity are key factors for the SVC growth.

### はじめに

対流圏界面付近で存在する光学的に非常に薄い subvisual cirrus clouds (以下 SVC)は、その水平スケールが平均 500 km と地球規模で一様に広がっており (Winker and Trepte 2001) 西部太平洋の暖水域では多い時で 80 % 程度の確率で出現すると言われている (Wang et al. 1996)。このため、その放射強制力は無視できず、最も重要な温室効果ガスである水蒸気の対流圏から成層圏への流入を阻み成層圏下部を乾燥させるとも言われている (例、Hartmann et al. 2001)。このように重要な役割をはたすと考えられているにも関わらず、生成消滅過程、粒径分布など SVC にはまだ知られていないことが多い。これは、地上からは肉眼で見ることができず、他の雲に比べ光学的にかなり薄いため、重要視されていなかったためである。このため、近年、SVC の観測が盛んに行われ始めている (例、Wang et al. 1996, Iwasaki et al. 2004)。ここでは、観測結果の解析より、SVC の沈降とその成因について考察を行う。

### 観測

2001 年 11 月から 12 月、観測船みらいに設置したライダ、95GHz 雲レーダ、3 時間毎に放球したラジオゾンデを用い、北緯 2 度東経 138 度で行った。図 1 はライダ、雲レーダで観測された雲の出現頻度を各高度毎に取ったものである。これより、雲レーダで観測できるアンビルは、深い対流でも高度 15km までしか存在できないことが分

かる。これに対し、ライダは 17km まで雲を有意に観測していることが分かる。SVC は、高度 16.5km 付近の出現頻度のピークに対応する。これより、これらの雲がアンビルから直接作られていないことを示唆する。なお、ライダは減衰が激しいので、高度 12km 付近ではライダの方が雲を観測していない。また、示していないが、12km 付近のアンビルは、ライダで観測できるものは雲レーダでもほぼ観測されている。

### 解析 1 : SVC の沈降

図 2 は、各 SVC において、波長 1064nm で測定した後方散乱係数  $\beta_{1064}$  の最大値をもつ高度のグラフである。これらの高さは、ほぼ SVC の中心の高さにあたる。これより、ほぼ全ての SVC は沈降しており、それぞれの沈降速度を平均すると 3cm/s となった。観測された有効半径の平均値が 10 $\mu$ m であり (観測された  $\beta_{1064}$  から、log-normal 分布、粒子個数密度を 10<sup>5</sup> 個 /m<sup>3</sup>、分散 1.6 と仮定した)、六角柱の氷粒子の終端速度の理論値が 1.5 から 4.2cm/s の間になり、理論値と一致することから、SVC は沈降していると考えられる。SVC の平均した氷水量は、10<sup>-4</sup> g/m<sup>3</sup> と考えられているから、平均的な規

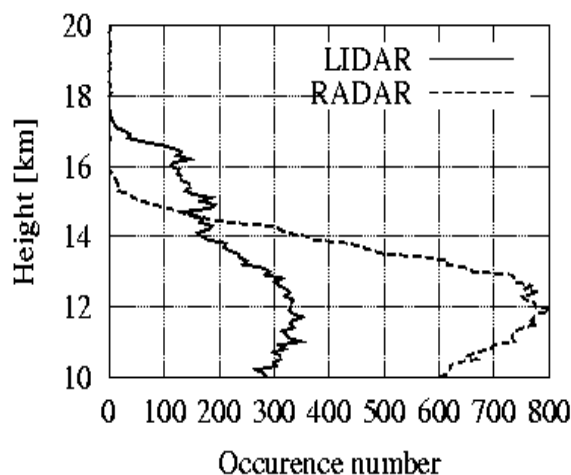


Fig. 1: The cloud occurrence number observed by the lidar (solid curve) and the radar (dashed curve) for the observation period.

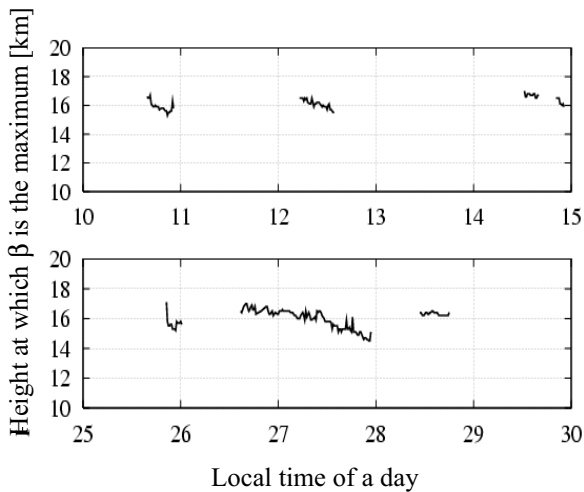


Fig.2: The height at which  $\beta_{1064}$  is the greatest in SVC at each point.

模の SVC (500km × 500km × 500m) が一回出現すると、 $10^4$ t の水を直接脱水していることになる。

### 解析 2 : SVC の成長

図 3 は、気温の負の偏差  $\delta T$  が起きた時、半径  $0.1\mu\text{m}$  から  $2\mu\text{m}$  まで昇華成長するのに必要な時間をゾンデで観測された平均気温を元に、各相対湿度 RH について計算したものである (Pruppacher and Klett, 1996)。図の右側に行くほど成長しにくいことを示す。これより、

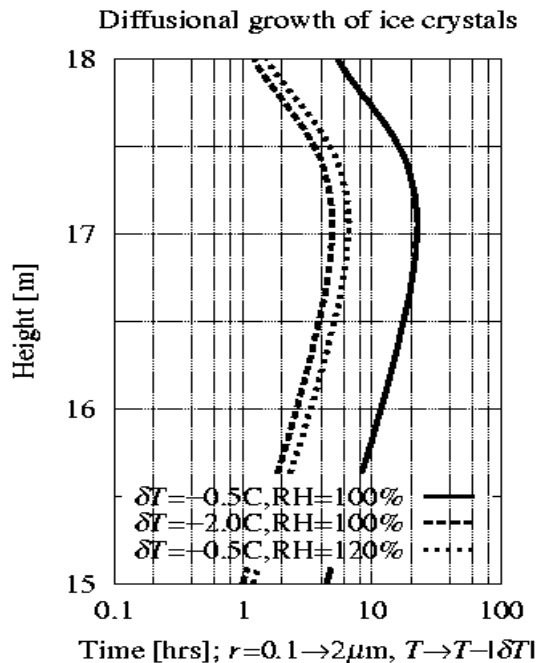


Fig. 3: The time that is needed to grow from  $0.1\mu\text{m}$  to  $2\mu\text{m}$  by the diffusional grow when the temperature anomalies occur.

気温が低い 17km 付近は蒸気圧が極めて低いので、成長が最も遅い。ところが、SVC はその高度で最も観測されやすい。図より、気温の負の偏差も成長の促進に重要であるが、相対湿度も同様に重要であることが分かる。これは、SVC の消滅過程も同様で、消滅に要する時間は RH と  $\delta T$  に強く依存する。しかしながら、Fujiwara et al.(2003)にあるように、パイサラの湿度計ではその高度の湿度を測れないため、この高度の湿度はほとんど分かっていない。このため、SVC の成因を観測するためには、日変化が分かる程度の頻度で放球する水蒸気ゾンデとライダーによる同時観測が望まれる。

### 参考文献

Fujiwara M., M. Shiotani, F. Hasebe, H. Vomel, S.J. Oltmans, P.W. Ruppert, T. Horinouchi, and T. Tsuda, Performance of the Meteolabor  $\lambda$ Snow White  $\epsilon$  Chilled-Mirror Hygrometer in the Tropical Troposphere: Comparisons with the Vaisala RS80 A/H-Humicap Sensors, *J. Atmos. Oceanic. Technol.*, 20, 1534-1542, 2003.

Hartmann, D.L., J.R.Holton, and Q. Fu, The heat balance of the tropical tropopause, cirrus, and stratospheric dehydration, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 1969-1972, 2004.

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.*, doi:10.1029/2003GL019377, 2004.

Pruppacher, H. R. and J. D. Klett, *Microphysics of Cloud and Precipitation*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1996.

Wang, P. H., P. Minnis, M. P. McCormick, G. S. Kent, and K. M. Skeens, A 6-year climatology of cloud occurrence frequency from Stratospheric Aerosol and Gas Experiment II observations (1985-1990), *J. Geophys. Res.*, 101, 29407-2942. 1996.

Winker, D.M., and C.R.Trepte, Laminar cirrus observed near the tropical tropopause by LITE, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 3351-3354, 1998.