

# Lidar と Sky radiometer による巻雲とエアロゾルの観測 Lidar and Sky radiometer measurements of cirrus cloud and Aerosol

青木一真、西川寛子、藤吉康志(北大・低温研)、  
杉本伸夫、松井一郎(国立環境研)、橋口浩之(京大・超高層)

*kazuma@lowtem.hokudai.ac.jp*

Kazuma Aoki, Hiroko Nishikawa, Yashushi Fujiyoshi,  
(Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo)

Nobuo Sugimoto, Ichiro Matsui,  
(National Institute for Environmental Studies, Tsukuba)

Hiroyuki Hashiguchi  
(Radio Atmospheric Science Center, Kyoto University, Kyoto)

## Abstract

We started the long-term monitoring of aerosols on July 1997, by using a sky radiometer set on the roof of our institute. Aerosol particles scatter light from the sun and cause enhanced bright regions surrounding the solar disk in cloudless conditions. This region is called as the aureole. The sky radiometer is a spectral scanning radiometer and measures both the direct-solar and circumsolar radiation. The sky radiometer permits continuous measurement of the volume size distribution, the aerosol optical thickness and the single scattering albedo of vertically integrated atmospheric aerosols. We started the monitoring of aerosols and cirrus clouds on February 1999, by using a Mie Lidar. Vertical profiles of aerosols and cirrus clouds are obtained by Lidar measurements. We briefly introduced the sky radiometer and some results obtained in this two year.

## 1. はじめに

大気エアロゾルによる気候影響は、エアロゾル粒子そのものが散乱や吸収を起こすことによる直接的効果と、エアロゾル粒子が雲核となって働く間接的効果がある。このようなエアロゾルや雲による変動や気候への評価は、最近のリモートセンシングの発達<sup>(1)</sup>や気候への放射強制力<sup>(2), (3)</sup>といった立場から報告されるようになり、その評価も徐々によくなってきている。しかし、時間・空間的変動が大きいという特徴を持ったエアロゾルや雲の評価は、未だ不確定な量が多く、これからの研究課題が多いと考えられる。

そこで我々は、地上による観測から、エアロゾルや巻雲の時間・空間的変動について精度よく定量的に把握することを最初の目標として、研究を進めてきている。今回は、札幌におけるエアロゾルの季節変動と巻雲に関わる影響などを中心に報告する。

## 2. 観測と解析

1997 年 7 月より現在まで、札幌(北海道大学・低温科学研究所、屋上)にて、太陽直達光と周辺光を 7 波長(エアロゾルチャンネル: 400, 500, 675, 870, 1020 nm、水蒸気チャンネル: 940 nm、オゾンチャンネル: 315 nm)で測定できる Sky radiometer (Prede Co., Ltd.: Fig. 1) により連続観測を行っている。また、Lidar (Mie lidar: 532 nm) は、1999 年 2 月より観測開始し、札幌や京大 MU レーダー観測所などにより観測を行っている。Sky radiometer は、晴天時の 10 分おきに 1 回、太陽直達光と周辺光を測定している。雨天時には、鏡筒に雨が入らないように雨センサーを取り付けて鏡筒が下を向くように設計されている。観測から得られた太陽直達光と角度別の周辺光の比を取り、Eq. (1) のように規格化した放射輝度を定義し

て、インバージョン法<sup>(4)</sup>により、粒径分布や光学的厚さを計算した。

$$R(\Theta) \equiv \frac{E(\Theta)}{Fm\Delta\Omega} = \omega\tau P(\Theta) + r(\Theta) \equiv \beta(\Theta) + r(\Theta) \quad (1)$$

ここで、 $E(\Theta)$  は、太陽周辺光の放射輝度、 $F$  は、太陽直達光の放射輝度、 $m$  は、大気光路長、 $\Delta\Omega$  は、測器の立体視野角、 $\omega$  は、一次散乱アルベド、 $\tau$  は、光学的厚さ、 $P(\Theta)$  は、散乱位相関数、 $r(\Theta)$  は、多重散乱の寄与である。Table. 1 は、計算パラメータの詳細である。

Table. 1 Details of the calculation parameters

|                                                                          |                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Aerosol complex refractive index                                         |                                                    |
| $m = m - ki$                                                             | 1.50 - 0.01i (rural)                               |
|                                                                          | 1.55 - 0.01i (dust)                                |
| Observation angle                                                        | 0.0 - 160.0 degree                                 |
| Used of the scattering angle                                             | 3.0 - 30.0 degree                                  |
|                                                                          | (3.0, 4.0, 5.0, 7.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0, 30.0) |
| Volume size distribution of the aerosol particles in the radius interval |                                                    |
|                                                                          | 0.02 - 10.0 $\mu\text{m}$                          |
| Ground albedo                                                            | 0.1 for each channel                               |
|                                                                          | 0.4 (winter season; Snow)                          |

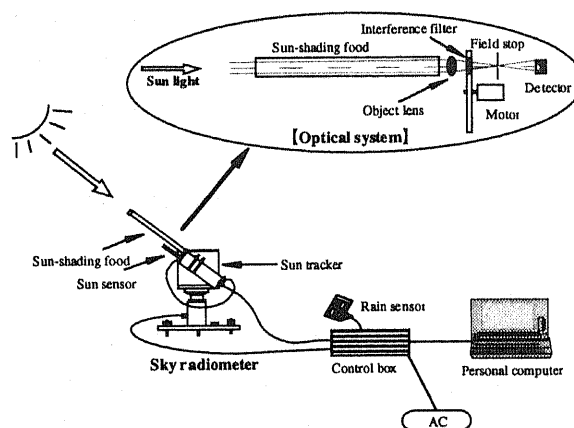


Fig. 1 Geometry of the sky radiometer system.

### 3. エアロゾルの時空間変動

Fig. 2 は、1997 年 7 月から 1999 年 10 月までの札幌における 500 nm のエアロゾルの光学的厚さ (AOT500) の月平均値とその月の一番最小値を 10 倍にしたもの、オングストローム指数 (ALFA) の月平均値、一次散乱アルベドの月平均値をプロットしたものである。500 nm のエアロゾルの光学的厚さは、春に高く、秋に低い傾向が示され、季節変動が見られた。また、月平均値と月最小値の変動は、必ずしも一致することとはなかったが、大体の傾向は似ているように思われる。オングストローム指数の変動は、はっきりした季節変動は、見られなかったが、春先の雪解け後によるローカルな砂塵の影響や長距離輸送による砂塵の影響で、値が低い傾向がみられた。一次散乱アルベドは、夏に最大のピークが見られ、冬にも小さいなピークが見られた。Fig. 3 は、1997 年 7 月から 1999 年 10 月までの札幌における 500 nm のエアロゾルの光学的厚さ (AOT500) とオングストローム指数 (ALFA) の関係についてを季節ごとに分けて示したものである。冬と春は、負の相関が見られ、夏と秋には、正の相関と負の相関が組み合わさったものが見られた。どの季節も光学的厚さが高くなるときは、オングストローム指数が低くなる傾向が見られ、大気が混濁してくる原因として、大粒子の影響が大きいと示唆される。

### 4. エアロゾルと巻雲の効果

Fig. 4 は、1997 年 7 月から 1998 年 12 月までの札幌における、Eq. (1) のように直達光と周辺光から求めた 500 nm のエアロゾルの光学的厚さとオングストローム指数の関係 (黒色の点：真ん中) と、直達光のみでサンフォット法によって計算された 500 nm のエアロゾルの光学的厚さとオングストローム指数の関係 (薄い灰色点) をプロットしたものである。前者は、雲の影響も除去しており、例えば、直達光に雲がかかっている時はもちろん、直達光に雲がなくても周辺光に雲がかかっている場合は、計算をしていない。後者の場合は、測器がある数値より大きな放射輝度を測定するようになっており、測定された全データ

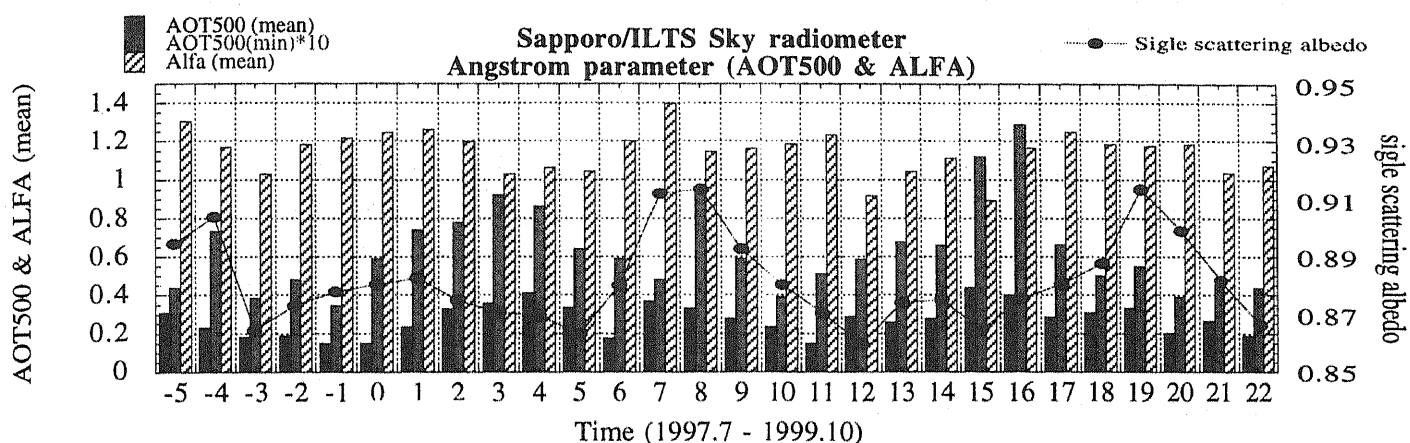


Fig. 2 The change with time of monthly averaged Aerosol optical thickness at 500nm (AOT500), Angstrom exponent (ALFA), Single scattering Albedo and monthly minimum Aerosol optical thickness at 500nm from July 1997 to October 1999 in Sapporo

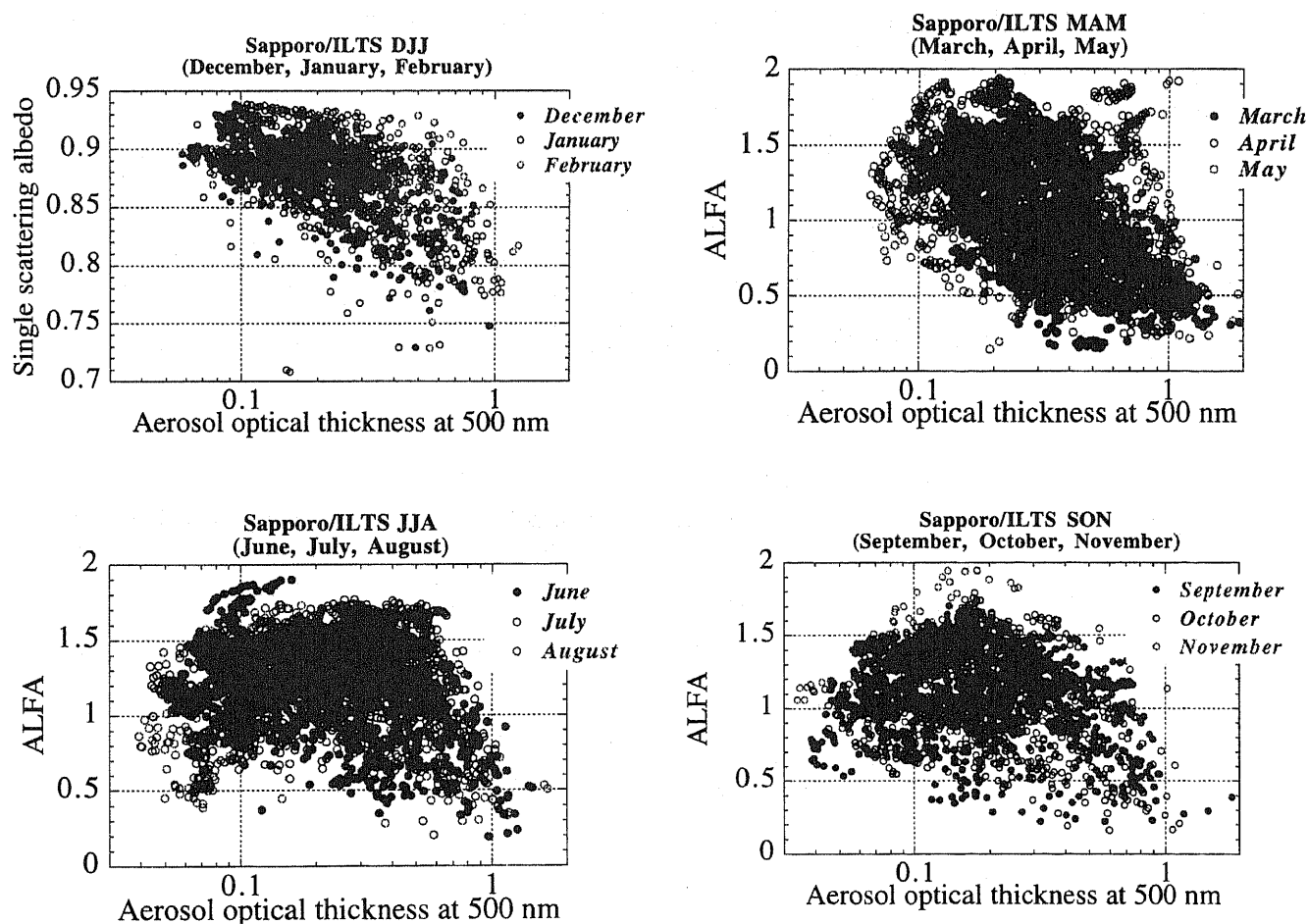


Fig. 3 Seasonal variations of Angstrom parameter from July 1997 to October 1999 in Sapporo

を解析したものである。前者は、全データを解析した後者のうち、札幌の2年間余りの観測結果では、約37%しかなかった。光学的厚さが高く、オンゲストローム指数が0以下のような小さいところでは、雲の影響が起因していると考えられるが、光学的厚さが小さいところでは、周辺光に雲があったなどの理由により、解析が行われたかった部分があったことが示された。

ここでは示しませんでした。発表では、Lidar から得られたエアロゾルと巻雲の鉛直分布の結果も Sky radiometer の結果と比較しながら示す予定である

## 5. まとめと今後の課題

500nm のエアロゾルの光学的厚さ、オンゲストローム指数、一次散乱アルベドの時間変動は、光学的厚さが、春に高く、秋に低い値を示し、光学的厚さとオンゲストローム指数との関係からも季節変化の様子がみられた。また、春や冬には負の相関が、夏や秋には正と負の相関が合わさったものが確認された。一次散乱アルベドは、夏に最大、冬にもう一つ小さなピークが見られた。また、周辺光を使った計算が、全体の約37%しか計算することが出来ていないので、雲による影響については、これからの課題となろう。Sky radiometer から得られた情報は、大気一層として考えているため、鉛直分布の情報は得ることが出来ない。そのため、Lidar を組み合わせることにより、より詳細な時間・空間分布について議論する必要があると思われる。現在、Link-J グループ (<http://info.nies.go.jp:8094/kosapub/>) では、そのような組み合わせた観測について、まず、春先の黄砂現象に着目して研究を進めている。

## Reference

- (1) Nakajima, T., A. Higurashi, K. Aoki, T. Endoh, H. Fukushima, Member, IEEE, M. Toratani, Y. Mitomi, G. B. Mitchell, and R. Furuin, 1999: Early phase analyses of OCTS radiance data for aerosol remote sensing. *37 IEEE Trans. Geosci. Remotesensing*, 1575-1585.
- (2) IPCC 95: Climate change 1996: Univ Press, pp.572.
- (3) Hansen, J. E., M. Sato, A. Lacis, R. Ruedy, I. Tegen, and E. Matthews, 1998: Climate forcing in the industrial era. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **95**, 12753-12758.
- (4) Nakajima, T., G. Tonna, R. Rao, P. Boi, Y. Kaufman, and B. Holben, 1996: Use of sky brightness measurements from ground for remote sensing of particulate polydispersions. *App. Opt.*, **35**, 2672-2686.

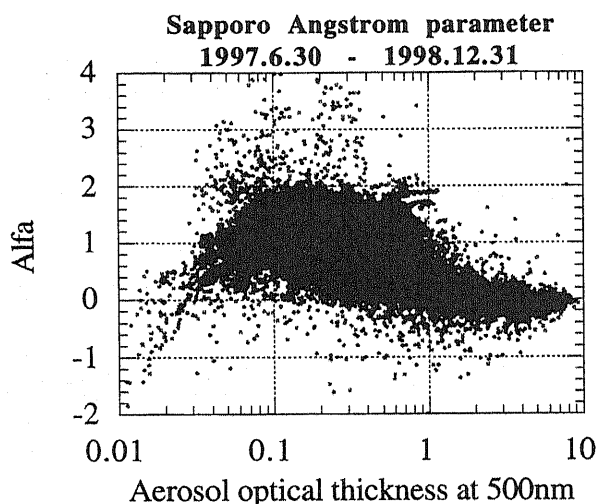


Fig. 4 Angstrom parameters (AOT500&ALFA) from Aureole and Sunphoto methods.