

東大阪におけるエアロゾルの偏光観測 Photopolarimetry of Atmospheric Aerosols over Higashi-Osaka

保本正芳, 佐野 到, 向井苑生
近畿大学理工学総合研究所
〒577-8502 東大阪市小若江 3-4-1

Masayoshi Yasumoto, Itaru Sano and Sonoyo Mukai
Research Institute for Science and Technology, Kinki University
3-4-1 Kowakae, Higashi-Osaka, 577-8502 Japan

(Received December 28, 2006)

Abstract

This paper presents the photopolarimetric measurements of atmospheric aerosols with a portable multi-spectral polarimeter. Opto-Research PSR-1000, which has six observing wavelength bands. The measurements have been undertaken at Kinki University campus in Higashi-Osaka on clear days since 1996. The PSR-1000 observes radiance of the direct sunlight, which provides Ångström exponent as well as aerosol optical thickness, and radiance and polarization of atmospheric light, which is available to extract other information of aerosol characteristics. The sensor calibration of PSR-1000 is important to keep the accuracy of AOT. The extraterrestrial outputs of PSR-1000 were obtained at Mt. Mauna-Loa in Hawaii Island and at Mt. Haleakala in Maui Island and so on to get the calibration constants of PSR-1000 based on Langley plot method involving gaseous absorption.

It is shown that the relation between polarization degree and aerosol optical characteristics.

Keywords: Photopolarimetry, Calibration, Aerosol characteristics

1. はじめに

大気エアロゾルは太陽光の散乱や吸収を通して直接的に地球大気の放射収支を変化させる。さらに、エアロゾルは雲の凝結核

として雲粒子形成や雲量に寄与し、間接的にも地球の放射収支に重要な役割を果たしている。エアロゾル観測の重要性は言うま

でもない。

地上からの大気放射観測は、日本だけでなく海外の様々な研究機関で継続して実施されているが、偏光測光の継続は殆どなされていない。近畿大学グループは、1996年より簡易型偏光放射計(オプトリサーチ社製:PSR-1000)を用いた東大阪でのエアロゾル偏光測光観測を実施している。偏光情報がエアロゾル特性導出に有用な事は、地上観測結果[1, 2, 3], 及び衛星観測[4, 5]から既

2.放射計の校正

東大阪市は、大阪湾から大阪市上空を越えて吹き込む海洋性エアロゾル、東大阪市での工場排煙や自動車からの排気ガス、中国大陸からの黄砂などの様々な起源のエアロゾルが多く混在する。1996年以来、近畿大学構内8階建て屋上(地上約30m, 海拔約50m)にてPSR-1000を用いた東大阪市上空の偏光放射観測を実施している。PSR-1000は、1996年に日本の宇宙開発事業団(NASDA/現JAXA)から打ち上げられたADEOS(みどり)衛星に搭載されたPOLDERセンサ(フランスCNES開発)の地上検証用機器として導入した。

観測は、雲のない晴れの日には太陽直達光観測と大気偏光観測を行なう。観測波長帯は0.443, 0.490, 0.565, 0.670, 0.765, 0.865 μm の6バンドを使用する。偏光観測は、散乱角を変え(45~120°), 太陽の主平面上で実施した。太陽直達光観測からは、エアロゾルの光学的厚さ(AOT)や光学的厚さの波長依存から求まるオンゲストローム指数(α)などを導出する。偏光観測結果からは、エアロゾルの複素屈折率の導出を行なう[3]。

直達光データから、エアロゾル光学特性

に報告した。

本報告では、PSR-1000による東大阪でのエアロゾル偏光観測データが蓄積されたことから、1997年から2004年までの観測結果について、太陽直達光観測結果とともに報告する。直達光データの解析前処理としては、ラングレープロット法を用いた機器校正を実施し、エアロゾルデータの精度を上げている。

を導出する場合、大気への入射光輝度(大気上端での太陽放射輝度)の決定が重要である。特に、放射計の干渉フィルターの劣化等により、機器固有の値(校正定数)は経年変化する。直達光観測データからエアロゾルの光学的厚さを得るには、経年変化補正のための機器校正が欠かせない。近畿大学では、1997年よりラングレープロット法[6]による機器校正を実施している。ラングレープロット法は、長時間安定した大気状態で観測した太陽直達光データを用いて校正定数を決める。PSR-1000の機器特性、及び校正手法の詳細は、既に報告しているのでここでは割愛する[1, 6]。

校正観測は、ハワイ島マウナケア山(1997年)、西オーストラリア・フリーマントル(2000年)、マウイ島ハレアカラ山(2001, 2005年)、ハワイ島マウナロア山(2002, 2003年)にて実施した。校正観測データは、数日間にわたり取得しているが、ここでは非常に安定した状態で取得して、データのばらつきが少ない日のみを採用している。また、1997年1月10日に気象研究所にて、PSR-1000と同機器である気象研究所所有

の FPR-1000 (マウナロア山にて校正済み [7]) との比較校正観測を実施している。(Table 1 参照)

NASA が大気エアロゾル観測ネットワーク AERONET (AErosol RObotic NETwork) を 1993 年から地球規模で展開し, 太陽直達光と大気散乱光観測から, 光学的厚さやオングストローム指数だけではなく, サイズ分布や複素屈折率を導出している. 本グループでは, AERONET ステーションとして, AERONET 標準放射計 (CE-318-1: Cimel 社製) を 2000 年から白浜に, 2002 年より東大阪において CE-318-2 を設置している. AERONET は, Goddard Space Flight Center (GSFC) にて, 基準器との比較観測から校正を実施している. GSFC の基準器は, ハワイ島マウナロア山にて, ラングレープロットキャリブレーション法による機械校正を

実施している. AERONET は, 可視から近赤外域波長域までのエアロゾルの光学的厚さを, ± 0.01 精度で導出している [8]. ここでは, 機器校正後に WEB ページに公開されるレベル 2.0 データを使用した. Fig.1 に, 東大阪サイトにおいて PSR-1000 と AERONET で得られた 2002 年 1 月~2004 年 12 月のエアロゾルの光学的厚さ (AOT) を示す. PSR-1000 は, 0.443, 0.670, 0.865 μm . AERONET は 0.440, 0.670, 0.870 μm の波長で ± 1 分以内のデータで比較する. PSR-1000 は, 光学的厚さ導出に際し, Table 1 のデータから日補間した校正定数を採用している. PSR-1000 データと AERONET データと AOT の差は, それぞれの波長で平均で ± 0.02 , ± 0.01 , ± 0.007 である. これより PSR-1000 は, AERONET とほぼ同程度精度の AOT を導出できると考える.

Table 1 Observational site and date for the Langley plot calibration.

Date	Observational Site
1997/01/10	MRI (Tsukuba, Japan)
1997/10/30	Mt. Mauna-Kea (Hawaii Island)
2000/02/19	Leighton Beach (Perth, Australia)
2001/02/21	Mt. Haleakala (Maui Island)
2002/03/10	Mt. Mauna-Loa (Hawaii Island)
2003/03/21	Mt. Mauna-Loa (Hawaii Island)
2005/02/27	Mt. Haleakala (Maui Island)

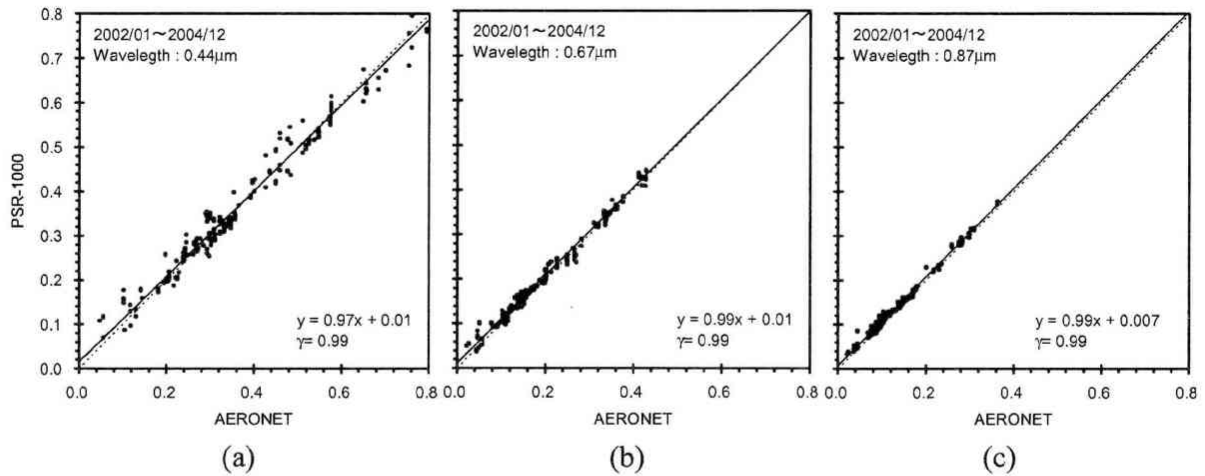


Figure 1: Comparison of PSR-1000 with AERONET/Sunphotometer at Higashi-Osaka.

3. 大気偏光観測

エアロゾルの特性（大きさ，組成，量，形状）の推定には偏光度（偏光の度合い）が有用である。偏光とは自然光が物に当たり散乱されて生じる光の偏りのことである。偏光は散乱体の特性によって異なるので，逆に偏光度が分かれば散乱体の特性が分かるということになる。

Fig.2 に，1997 年 1 月～2004 年 12 月に東大阪で得られた AOT と散乱角 90° で得られた偏光度を示す。(a)は $0.443\mu\text{m}$ ，(b)は $0.670\mu\text{m}$ ，(c)は $0.865\mu\text{m}$ のデータを表す。AOT と偏光度は，同時刻で取得することが出来ないため，偏光観測データの ± 15 分以内の AOT を採用する。偏光度は，AOT の増加と共に減少しており，全波長において強い負の相関を示している。図では，

$0.2 \geq \text{AOT}(0.865\mu\text{m})$ を通常大気（灰色）， $\alpha \geq 0.8$ を微小粒子（黒色）， $\alpha < 0.8$ （白色）を粗大粒子として色分けしている[9]。比較的， $\text{AOT}(0.865\mu\text{m}) > 0.2$ の大気混濁日が多いことが分かる。

Fig.3 は， α と $0.443, 0.865\mu\text{m}$ 間の偏光度比 ($P_{0.865}/P_{0.443}$) を示す。通常大気でも， $\alpha \geq 0.8$ の場合が多い。微小粒子の多く存在していることが分かる。また， α の増加と共に偏光度比も増加しており，正の相関を示している。粗大粒子の偏光度比は 1.0 以下を示している。長波長でも光学的に厚く，多重回散乱が効いている。微小粒子は，1.0 以上の値が存在する。小粒子が卓越すると，長波長での光学的厚さが小さくなり，多重回乱効果が減って $0.865\mu\text{m}$ での偏光度が上がる。

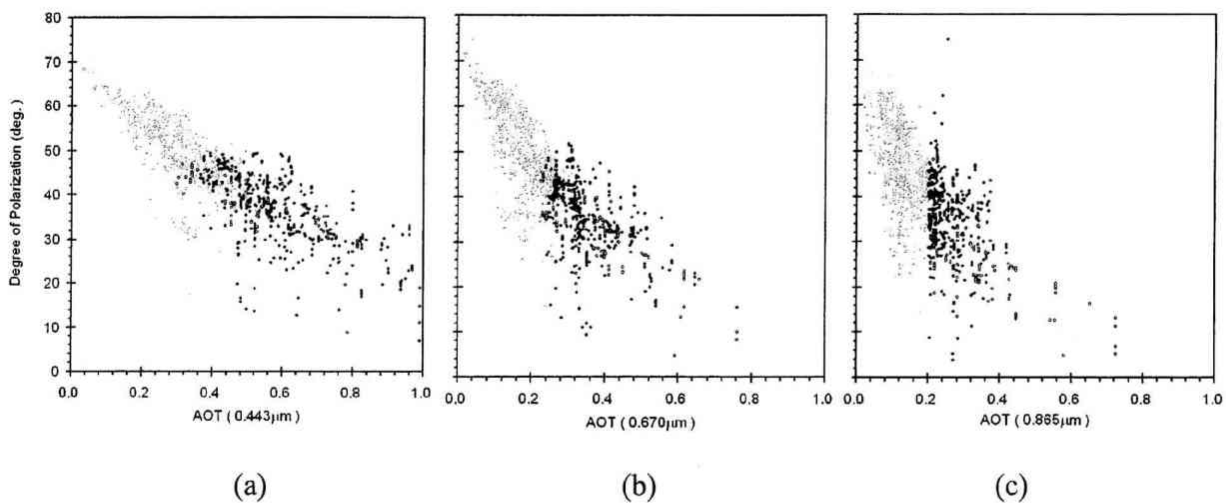


Figure 2: Relationship between a polarization degree and AOT over Higashi-Osaka.

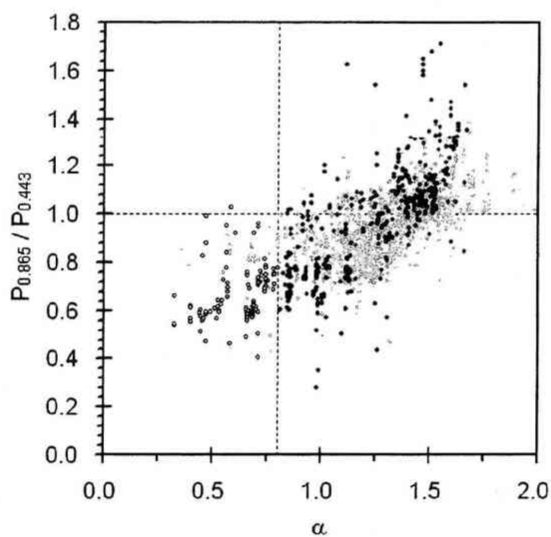


Figure 3: Relationship between $P_{0.865}/P_{0.443}$ and α over Higashi-Osaka.

4. おわりに

1997年～2004年までの偏光放射計 PSR-1000 を用いた東大阪上空の大気エアロゾル解析結果をまとめる。

- 1) PSR-1000 の AOT 精度検証の為、AERONET データとの比較検証を行った。

- 2) 常時微小サイズの人為起源エアロゾルが卓越していることが確認できた。
- 3) AOT($0.865\mu\text{m}$) >0.2 の大気混濁日が多い。
- 4) 偏光度の波長変化は、粒子サイズに依存する。

ここでは、東大阪での観測結果について報告した。日本南西部の島は、このアジアンダストの観測サイトとして有用で、春先

には国際協同観測が実施される事が多い。奄美大島や長崎県五島列島の福江島などでは、様々な研究機関がエアロゾルの長期観測を実施している。本グループでは、これらの観測サイトで PSR-1000 を用いて 2001 年より毎年春季に集中観測を実施している。この結果についても、いずれ報告したい。

参考文献

- [1] 向井苑生, 佐野到, 岡田靖彦, 小笠一史, 北島武志, 香西克俊, 石田廣史, 大気エアロゾルの洋上偏光観測, 海と空, 77(3), pp.127-133, 2001.
- [2] 向井苑生, 岡田靖彦, 佐野到, 香西克俊, 石田廣史, 西部太平洋赤道域上空のエアロゾルの光学的厚さ, 海と空, 78(3), pp.95-100, 2002.
- [3] I. Sano S. Mukai, Y. Okada, B.N. Holben, S. Ohta, and T. Takamura, Optical properties of aerosols during APEX and ACE-Asia experiments, *J. Geophys.Res.*, 108, 8649, doi:10.1029/2002JD003263, 2003.
- [4] 向井苑生, 佐野 到, POLDER 多方向データから導出したエアロゾル特性の全球分布, 日本リモートセンシング学会誌, 20(3), pp.85-93, 2000.
- [5] 佐野 到, 向井苑生, 偏光データを用いた大気エアロゾルリモートセンシング, エアロゾル研究, 2, pp.105-110, 2001
- [6] 保本正芳, 向井苑生, 中村良介, 佐野到, 多波長偏光放射計の校正, 日本惑星科学会誌, 8(2), p95-p100, 1999.
- [7] K. Masuda and M. Sasaki, A Multi-Spectral Polarimeter for Measurements of Direct Solar and Diffused Sky Radiation: Calibration and Measurements, *Optical Review*, 4(4), 1997.
- [8] B.N. Holben, T.F. Eck, I. Slutsker, D. Tanré, J.P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J.A. Reagan, Y. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenue, I. Jankowiak, and A. Smirnov, 1998: AERONET - A federated instrument network and data archive for aerosol characterization, *Rem. Sens. Environ.*, 66, 1-16.
- [9] M. Yasumoto, S. Mukai and I. Sano, Relationship between Aerosols and SPM, *Proceedings of ISRS 2006 PORSEC* (CD-ROM, ISSN 1598-6939), 2006.