

# エアロゾルの地表面放射への影響評価のための エアロゾル光学特性の推定について

○内山明博、山崎明宏、古林絵里子、工藤玲(気候研究部)  
岡田菊夫、財前祐二、直江寛明(環境・応用気象研究部)  
青木輝夫(物理気象研究部)

## 1. はじめに

地球の気候形成にとって放射収支は重要な役割を果たしている。放射収支成分のうち地表面日射フラックスがエアロゾルによってどのように影響を受けるか調べるため、地上で日射フラックスと太陽直達光、散乱日射の測定を行っている。必要なエアロゾルの特性を観測放射から推定するための方法の開発・改良を進めたので報告する。この方法によって得られたエアロゾルの特性と日射フラックスの関係を調べることによってその影響を評価できる。また、得られたエアロゾル特性のデータはエアロゾルの光学特性、放射フラックス計算の改善に役立つ。

## 2. 観測

観測は、地表面での全天放射量、分光太陽直達光、散乱光分布を、全天日射計、直達日射計、赤外放射計、スカイラジオメーター、分光日射計等で測定している。全天放射量は、全波長域と近赤外域(ここでは715nm以上)で測定している。ネフェロメーターとPSAPで地上のエアロゾルの散乱係数と吸収係数の測定、光学式のパーティクルカウンターによる粒径分布の測定も行っている。これら以外に気象要素として気温、湿度、風向・風速、雨量も合わせて測定している。また、雲の状態を監視するため、全天カメラを取り付けている。

ここで、解析するデータは、スカイラジオメーター、分光日射計、エアロゾル散乱・吸収係数のデータである。

## 3. スカイラジオメーター解析法

スカイラジオメーターは、気体分子の吸収が小さい波長で太陽直達光と空からの散乱光を測定する放射計である。このデータを解析して、大気中にあるエアロゾルの特性(粒径分布、複素屈折率、一次散乱アルベド等)を推定する。

スカイラジオメーターのデータ解析法としては、Skyrad Package (Nakajima et al, 1996)が広く使われている。また、Dobovik and King (2000)によって開発されたものがNASAのAERONETで使われている。Skyrad Packageは、初版以来改訂がつけられ非常に複雑なソフトウェアとなっている。ここでは、放射輝度計算は、Skyrad Packageで使われているものを使い、最尤法を使った推定法に変更する。最尤法を適用す

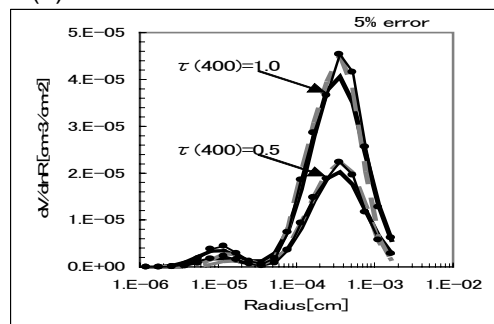
るに当たって、推定するパラメーター及び測定値の誤差は、正規分布しているものとした。

エアロゾルモデルを与えてシミュレーションで作成したデータに開発したプログラムを適用して性能を調べた。図1に推定した粒径分布と真値及びSkyrad Packageによる推定値を示した。真値からずれている粒径域もあるが、概ね再現できている。また、Skyrad Packageでしばしば見られる大きな粒径での跳ね上がりは見られない。この例に見られるようにSkyrad Packageと同程度かそれ以上の性能があることが分かった。また、実際のデータに適用したところ、Skyrad Packageよりも、安定に解析できた。

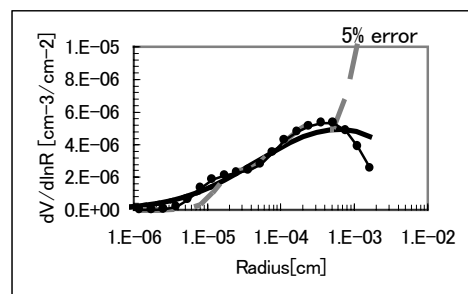
## 4. 分光日射計の解析法

分光日射計は、波長域300~1100nmを分解能約5nmでほぼ連続(0.4nm間隔)で測定する放射計であり、直達光と水平面日射量を測定する放射計から成る。これらの波長の内スカ

(a) Dust aerosol Model



(b) Water-insoluble Model



— truth — Skyrad ● this study

図1 推定した体積粒径分布の真値との比較  
実線が真値、波線が Skyrad.pack。  
測定値には 5%の誤差を仮定。

表1 推定した一次散乱アルベド( $\omega_0$ )とasymmetry factor (g)の精度

		Water-soluble		Dust 1	Dust 2	Biomass Burning
		$\tau < 0.5$	$\tau \geq 0.5$			
間接推定	$\omega_0$	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
	G	0.02	0.01	0.04	0.01	0.05
直接推定	$\omega_0$	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
	G	0.01	0.05	0.08	0.07	0.07

イラジオメーターで使用される波長のみを用いる。

解析は、粒径分布、屈折率を推定し、一次散乱アルベドや asymmetry factorを推定する方法(間接推定)と一次散乱アルベドと asymmetry factorを直接推定する方法(直接推定)を試みた。これらの推定には、スカイラジオメーターのとき同様に最尤法を用いた。

表1に、いろいろな条件で計算した結果得られた一次散乱アルベドと asymmetry factorの推定精度を示した。表から分かるように間接推定の方が精度がよい。一次散乱アルベドは、0.01~0.02の精度で推定できるが、asymmetry factorの推定精度は落ちる。

### 5. 散乱・吸収係数データの解析法

地上だけであるが、エアロゾルの光散乱係数と吸収係数の測定を行っている。また、粒径域は限られるが、同時にパーティクルカウンターで粒径分布の測定を行っている。これらのデータは連続に測定されており、これらから粒径分布や屈折率が推定できれば、サンプリングデータの分析に比べ、時間分解能の高いエアロゾル特性データが得られる。これを可能にするためには、光散乱・吸収係数を再現可能か調べておく必要がある。エアロゾルに混合している煤粒子の吸収係数への影響を調べるために実施した集中観測のデータを使って、観測した光散乱・吸収係数が再現できるか調べた。

図2に散乱・吸収係数の測定値と再現値の比較を示した。吸収係数は、測定された粒径分布と煤粒子の量でほぼ説明できること、内部混合を考えた方が一致がよいこと、散乱係数も再現しようとすると測定した粒子個数では少なかったこと等が分かった。ほぼ再現できることが分かり、散乱係数(3波長)、吸収係数(1波長)、パーティクルカウンターの粒径分布(0.3~5 $\mu\text{m}$ )を解析するプログラムを作成した。

### 6. まとめ

エアロゾルの特性が地表面放射への影響を評価するためにエアロゾルの特性を知る必要がある。スカイラジオメーター、分光日射計のデータから大気全体の平均的なものであるが粒径分布、屈折率、一次散乱アルベド等を推定するプログラムの開発を行った。推定法は、最尤法に基づくもので従来の

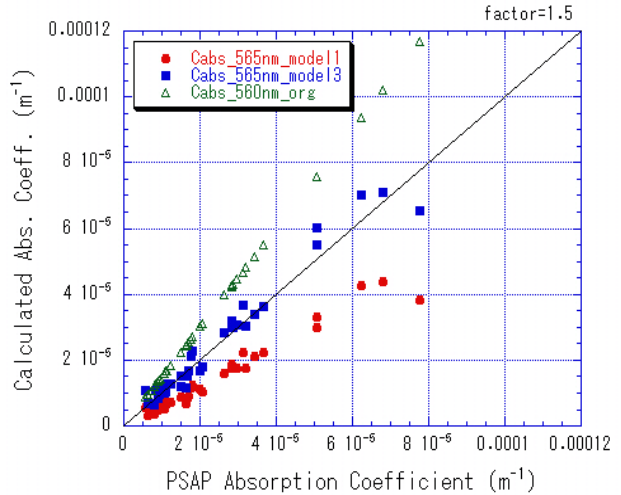


図2 再現した吸収係数と観測値の比較。  
■は内部混合、●は外部混合を仮定。

ものより安定で、拡張性が高いものである。また、地上だけであるが散乱・吸収係数が再現可能であることが分かり解析プログラムを作成した。今後、これらのプログラムを使って得られたエアロゾル特性の放射への影響を調べる。また、解析精度の改善、新しい情報を得るために解析法の改良を行う。

### 謝辞

本研究の実施にあたり、下記の方々のご協力を頂きました。深くお礼申し上げます。長谷川就一(国立環境研究所)、Jost Heintzenberg (Leibniz Institute for Tropospheric Research)

### 参考文献

- (1) 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, *Appl. Opt.*, **35**, 2,672-2,686.
- (2) Dubovik, O., and M. D. King, 2000a: A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements, *J. Geophys. Res.*, **105**, D16, 20,673-20,696.

\*本研究は、融合型経常研究「放射過程の高度化のための観測的研究(H16-18)」の一環として行われた。主任研究者:内山明博、研究担当者:内山明博、山崎明宏、古林絵里子、工藤 玲、松瀬光太郎、岡田菊夫、三上正男、財前祐二、直江寛明、高橋 宙、青木輝夫、田中悦子、朽木勝幸