



◆ 大気エアロゾルの光学的性質の時間変動を捉える ◆

～ シリーズ研究紹介 (久世研究室) ～

環境リモートセンシング研究センター (CEReS) の研究紹介シリーズの一環として、本号では久世研究室で行っている研究テーマの中から、大気エアロゾルの性質の時系列的な変化についてどのようなデータが取得できてどのような解析が可能か、また、それを衛星データの大气補正に必要なエアロゾルの光学特性と結びつけるにはどのような手段があるか、について解説します。普段のニュースレターよりもやや詳しい内容になりますが、衛星データ解析で大気状態の把握が必要になるケースは多いと考えられるので、何かの役に立てば幸いです。

衛星データの大气補正には放射伝達計算が必要で、多重散乱を効率的に取り扱う必要から、現在では 6S、MODTRAN、RSTAR といった計算機コードがよく用いられています。これらのコードには、標準的なエアロゾルモデルと呼ばれるものが入っており、コードにより若干異なりますが、たとえば urban (都市型)、rural (田園型)、maritime (海洋型) などのモデルがよく用いられています。Fig. 1 に、これらの粒径分布 (個数分布) を示します。数式としては 3 峰性の対数正規分布の和として表され、urban では粒径の小さなエアロゾル (主として人為起源の粒子) が多く、maritime では粒径の大きな海塩粒子が多いことなどを反映した分布になっています。

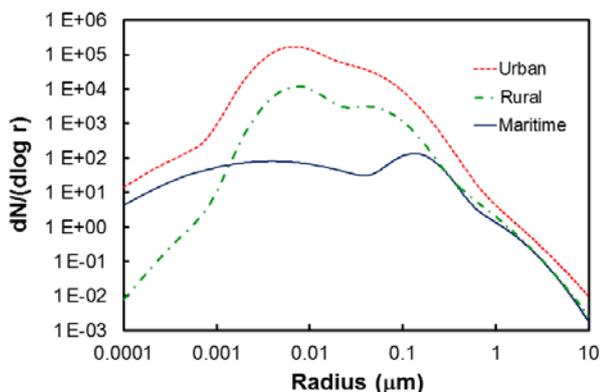


Fig. 1 標準的なエアロゾルモデルの粒径分布

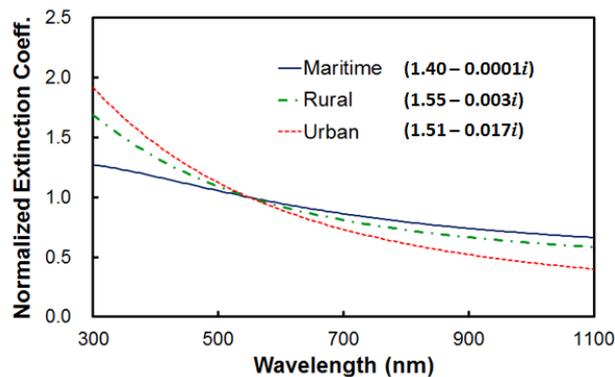


Fig. 2 消散係数の波長依存性

一般に、単一のエアロゾル粒子の光学特性はミー散乱の計算によって求められますが、その計算を実行するには、光の波長 λ 、粒子の半径 r 、そして粒子を構成する誘電体の複素屈折率を知る必要があります。Fig. 1 の3つのモデルに対してふつうに仮定される複素屈折率の値を用いると、Fig. 2 のようにエアロゾル消散係数の波長依存性の曲線を得ることができます。それぞれのモデルに対して適用した複素屈折率の値は、Fig. 2 の中に示しておきました。この図では、消散係数の値を波長 550 nm で正規化していますが、実際の大気中での消散係数は、その場所、その時刻におけるエアロゾル量によって広い範囲で増減します。Fig. 2 から分かるように、urban モデルで微小粒子が多い場合には消散係数の波長依存性は

比較的大きく、maritime で粗大粒子が多い場合には波長依存性は比較的小さくなります。このことを逆にみると、消散係数を測定して波長依存性を見れば、エアロゾル粒径に関する情報が得られることになります。

空気分子の大きさは可視光の波長に比べてずっと小さく、その散乱はレイリー散乱と呼ばれます。レイリー散乱の場合、その波長依存性を λ^p と書くと、指数 p の値はほぼ 4.0 になります。すなわち、レイリー散乱では短波長の光（青）は長波長の光（赤）に比べてはるかに強く散乱され、これが青空の原因となっていることはよく知られた事実です。エアロゾルの場合、指数 p はオングストローム指数と呼ばれており、urban、rural、maritimeの各モデルについて波長 400-800 nmの範囲でFig. 2 のデータを両対数プロットして得られる直線の傾きからオングストローム指数の値を計算すると、それぞれ、1.25、0.88、0.58 という値が得られます。すなわち、urbanモデルの場合のようにオングストローム指数の値が大きいと、比較的小さな粒子が卓越していることになります。

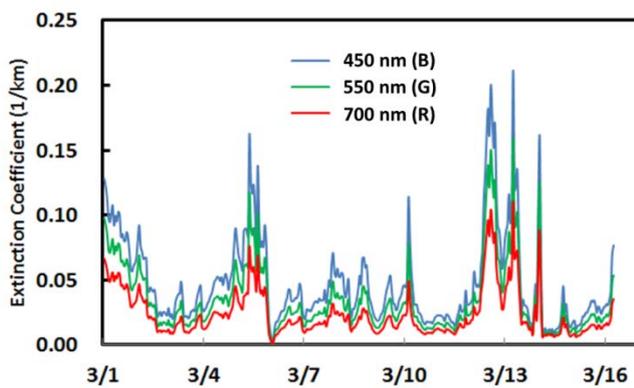


Fig. 3 ADCL 地上測器により取得したエアロゾル消散係数の時間変化。

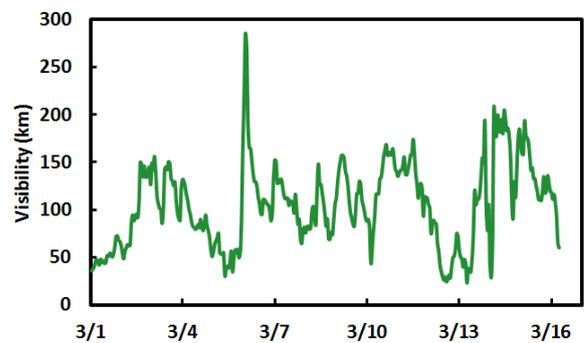


Fig. 4 ADCL 地上測器データに基づいて計算された地上視程 (550 nm)。

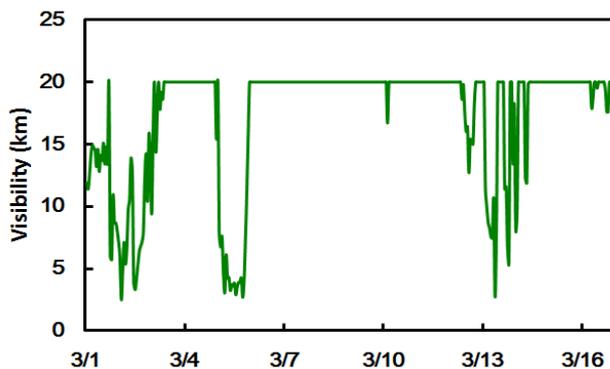


Fig. 5 気象庁千葉観測所において観測された視程の変化。

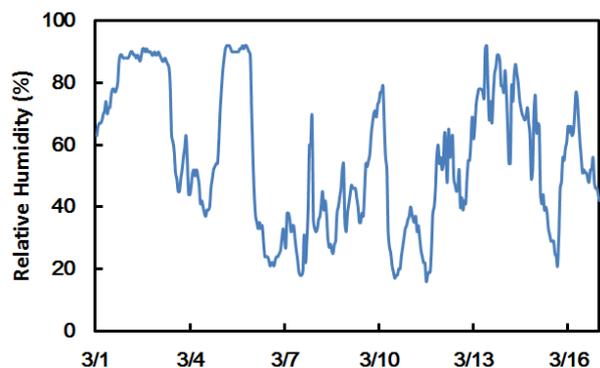


Fig. 6 同湿度変化

CEReS の多波長ライダーシステム (ADCL: Atmospheric Data Collection Lidar, CEReS ニュース No.69、August 2011 を参照) では、周囲の大気を連続的に吸引してエアロゾルの散乱・吸収係数や粒径などを計測する積分型ネフェロメータ、エーサロメータや光学式パーティクルカウンターなどの地上測器が用いられているのが特徴です。これらの装置は昼夜を問わずに連続的にデータ取得ができるので、観測室のある建物付近のエアロゾル特性の変化を捉えることが可能です。Fig. 3 に、ADCL 地上測器により測定

された 2014 年 3 月前半におけるエアロゾル消散係数の時間変化を、また、Fig. 4 に同じデータから推定された地上水平視程の値を示します（消散係数とは、散乱係数と吸収係数の和を表します）。ここで、視程の計算には、光源強度が元の値の 2% になる距離として視程を定義するコシュミーダーの式（エアロゾルと分子の消散係数の和を α とすると、視程 $V=3.912/\alpha$ ）を仮定しています。一方、気象庁の千葉観測所（中央区中央港）における観測データ（<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/>）から同じ期間の視程データを得てプロットした結果が Fig. 5 です。このデータでは、基本的に視程 20 km 以上は視程良好という扱いでそれ以上の値は取得されていません。また、千葉大西千葉キャンパスと中央港の距離は約 2.8 km であり、千葉観測所が臨海部にあることから 2 地点での視程の振る舞いは、完全に同じではないことに注意が必要です。（それ以外にも、気象視程では光源を用いる場合には、強度の 5% になる距離を視程として扱っているようですが、ここでは値をそのまま用いることにします。）Fig. 4 と Fig. 5 を比較すると、地上測器による推定値は気象視程よりも全体的にかなり長い視程になっていることがわかります。時間変動をみると、3 月 5 日前後、13 日前後の視程の低下は両データで同様に捉えられていますが、時刻としては少しずれが認められます。3 月 1 日から 2 日にかけての低下についても同様です。

Fig. 6 に、この期間に千葉観測所で記録された湿度の時間変化を示します。これを Fig. 5 と比較すると、相対湿度が 70%、80% といった高い値になったときに視程が低下している傾向が認められます。これは、海塩粒子のように潮解性のエアロゾルが多く含まれているときに一般的に起こる現象で、湿度の増加とともにエアロゾルの粒径が増加し、消散係数が増えることに対応しています。それでは、Fig. 4 と Fig. 5 の視程の値は、どちらが実際の値として妥当でしょうか。日常的な経験で言えば、乾燥した冬の時期には多くの日に千葉大学から東京湾越しに富士山を見ることが可能ですが、春になると湿度が高くなることにともなって視程が低下します。したがって、Fig. 4 に示された地上測器データに基づく計算値は大気中の値と比べて大きすぎ、ひいては（コシュミーダーの式が妥当だとすれば）Fig. 3 で示されている消散係数は小さすぎるのではないかと、という推測が成り立ちます。

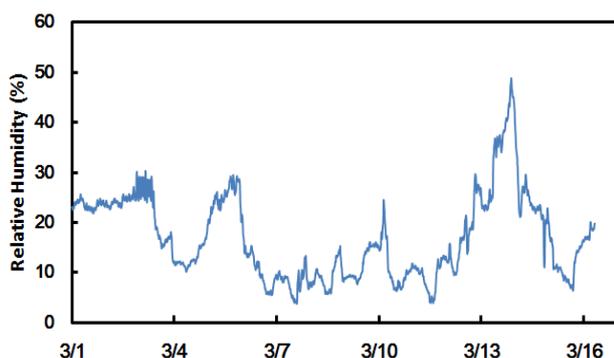


Fig. 7 積分型ネフエロメータ中の湿度変化。

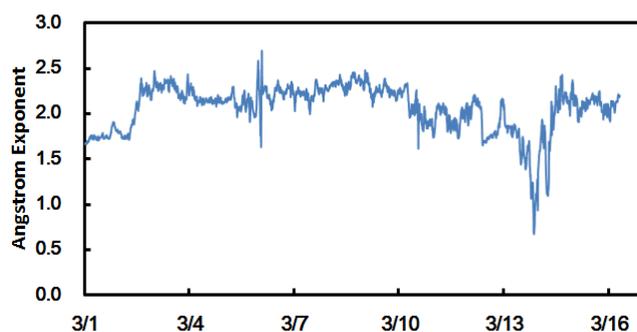


Fig. 8 積分型ネフエロメータの散乱係数から導出されたオングストローム指数。

地上測器のうち、散乱係数を測定する 3 波長積分型ネフエロメータでは、内部の湿度が記録されています。そのデータを Fig. 7 に示します。また、同測器で測定されたエアロゾル散乱係数の波長依存性から求めたオングストローム指数の時間変化を Fig. 8 に示します。実大気中での湿度変化 (Fig. 6) と測定器中の湿度変化 (Fig. 7) を比較すると、前者では最大値が 90% であるのに対して、後者では 50% 程度になっており、装置内部は乾燥した状態です。この湿度の差異にともなって、実大気中では多く含まれて

いた水分が蒸発し、みかけの散乱係数が小さく出ている可能性が高いこととなります。同じことは、Fig. 8 のオングストローム指数の値についても言えて、上で urban モデルに対する計算値として示した 1.25 に対して Fig. 8 の値は 2.0 前後で変動しており、粒径が明らかに小さくなっていることが推定されます。なお、Fig. 7 で測器中の相対湿度が高い値を示している 3 月 13 日には、オングストローム指数の値が 1.0 程度にまで低下しています。このこともまた、測器中の湿度が計測値に影響を及ぼしていることを強く示唆しています。

環境省や各自治体が全国約 2000 局の環境大気測定局において継続的に実施しているエアロゾルサンプリングでは、浮遊粒子状物質 (SPM、Suspended Particulate Matter) や PM2.5 の 1 時間値が記録されています。当研究室では、過去に、連続計測可能な自動ライダーのデータと近くの地上局の SPM データを比較し、光学的な消散係数 (単位は m^{-1}) とエアロゾルの質量濃度 (単位は $\mu g/m^3$) の比としてエアロゾルの質量消散係数 (単位は m^2/g) が導出可能であること、また、SPM の観測値と質量消散係数の値は実大気中の値と比較して、湿度によってそれぞれ過小評価・過大評価されることを示しました (Bagtasa et al., Atmospheric Environment, 2007)。同様のことが、ADCL の地上測器のデータに対しても成り立ちそうであり、湿度補正をきちんと行うことで、地上測器データを実大気中の値に変換することができそうです。本解説では紙数の関係で詳細は省きますが、昼間の連続観測が可能な長光路差分吸収分光法 (DOAS, Differential Optical Absorption Spectroscopy) からのデータや、太陽を自動追尾するサンフォトメータのデータについても、同様に測器と比較して経時変化を調べることができます。また、衛星データの大气補正には鉛直方向のエアロゾル光学的厚さが必要であり、水平方向の視程と結びつけるためにはエアロゾルの鉛直分布情報が必要になります。これについては、散乱体の高度分布が測定可能なライダー装置のデータが役立ちます。最後に、こうした多くのデータの関連を系統的に調べることを通じ、全国の SPM データをそれぞれの場所における大气補正に活用するようなことも将来的には考えられることを指摘して、本解説を終わりたいと思います。

(久世宏明・眞子直弘)



◆◆ Invited Talks at Indonesian Institutions ◆◆ ～ インドネシア各機関への表敬訪問および招待講演 ～



Fig. Invited talks at Universitas Surya and University of Indonesia on 14 August 2014

Our staff, Prof. Josaphat Tetuko Sri Sumantyo gave Invited Lecture on 14 August 2014 entitled “Development of Microwave Sensors onboard UAV and Microsatellite” at Universitas Surya and University of Indonesia. Prof Josaphat is Adjunct Professor of University of Indonesia (UI) since 14 November 2008 (<http://old.ui.ac.id/id/faculty/page/adjunct>). UI is Sister University of Chiba University and we have active

international exchange on academic and research activities, including TWINCLE Program, Short Stay Program, Short Visit Program, Double Degree Program etc. We also have established Chiba University International Exchange Center (IEC) office at Engineering Center of UI, Depok Campus, Jakarta who manages our international exchange.

* 千葉大学IECオフィス (インドネシア大学) の詳細はこちら(<http://www.chiba-u.ac.jp/international/IEC/i/>)



Fig. Prof Josaphat held official visiting to Rector of University of Sebelas Maret (UNS), Prof Ravik Karsidi (top left), Institute of Javanology (top right), and Invited Talk (bottom) for students and staffs of UNS on 19 August 2014

Prof Josaphat visited University of Sebelas Maret (UNS), Solo, Indonesia to hold official visiting to Rector, Prof. Ravik Karsidi to strengthen the collaboration on academic and research activities between UNS and Chiba University. Prof Ravik and staffs visited Chiba University on 20 May 2013 to start the exchange between us. Prof. Josaphat also visited Institute of Javanology UNS (Director : Prof.Sahid Teguh Widodo) to discuss the promoting of Javanese culture and employing remote sensing for monitoring Java island and its environmental change by publishing Journal, establishing of Javanology Community etc. Prof Josaphat gave invited lecture on remote sensing for students and staffs of UNS too.

(ヨサファット)

◆◆◆ Symposium on Microsatellites for Remote Sensing ◆◆◆
 (SOMIRES 2014)
 ~ The 21st CERE S International Symposium ~



The 21th CEReS International Symposium and Symposium on Microsatellites for Remote Sensing (SOMIRES 2014) was held together with Asia Future Conference (AFC 2014) at Bali Beach Hotel Sanur and Graduate School of Environmental Studies, University of Udayana, Bali, Indonesia on 22 August 2014. This symposium is focusing to discuss microsatellite, sensors and its applications for remote sensing. The invited presenters are experts on these topics from Chiba University, Hokkaido University, University of Cheng Kung, Multimedia University, Indonesian Aerospace Agency, University of Illinois, Ajou University and Yamaguchi University (Prof. Fusanori Miura, Vice President). The program is shown as poster above and attended by about 60 participants. This symposium is supported by Center for Environmental Remote Sensing (CEReS), Chiba University, Sekiguchi Global Research Association (SGRA) and Atsumi International Scholarship Foundation (AISF) to manage Natural Science Forum : Environmental Remote Sensing Special Session on AFC 2014. The topic of AFC is “Diversity & Harmony” as philosophy of Asia that has diverse culture and environment to realize harmony community. The SOMIRES 2014 is supported by Chiba University Microsatellite Program FY2013-2016, that this program develops two microsatellites for Ionospheric monitoring using GNSS-RO technology (L band and Ka band) and global land deformation monitoring using synthetic aperture radar (SAR) onboard microsatellites.



Fig. AFC 2014, SOMIRES 2014 and The 21th CEReS International Symposium

8月22日にインドネシアバリ島にて、第21回 CEReS 国際シンポジウムを兼ねてリモートセンシング用小型衛星国際シンポジウム (SOMIRES2014) を開催しました。このシンポジウムはリモートセンシング用の小型衛星・センサとアプリケーションに焦点をあて、CEReS、千葉大学、関口グローバル研究会、渥美国際交流財団によるサポートのもと、第2回アジア未来会議の自然科学フォーラム「環境リモートセンシング」の一環として同時開催されました。日本からは千葉大学をはじめ、北海道大学、山口大学、インドネシアの大学や航空局、またアメリカや韓国の大学などから専門家を招いて討論し、参加者は約60人ほどにのぼりました。

また、SOMIRES2014は千葉大学小型衛星プログラム(2013年～2016年)のサポートを受けており、このプログラムではGNSS-RO技術(LバンドとKaバンド)を使用した電離層観測用と、オンボード用円偏波合成開口レーダ(SAR)によるグローバル地殻変動観測用の2つの小型衛星の開発を進めています。

*第2回アジア未来会議の詳細はこちら (<http://www.aisf.or.jp/AFC/2014/>)