

B-8 有機エアロゾルの地域規模・地球規模の気候影響に関する研究

(2) 有機エアロゾルのキャラクタリゼーションに関する研究

② ライダーを用いたエアロゾルの空間分布に関する研究

独立行政法人国立環境研究所

大気圏環境研究領域 遠隔計測研究室 杉本伸夫
清水厚

〈研究協力者〉 独立行政法人国立環境研究所 大気圏環境研究領域 松井一郎
タイ王国 チュラロンコン大学 橋爪道郎

平成14～16年度合計予算額 11,613千円
(うち、平成16年度予算額 3,705千円)

[要旨]

東南アジア域でのバイオマス燃焼などから生じると考えられる有機エアロゾルの鉛直分布や光学特性について、タイ北部と南西諸島におけるライダー観測結果の解析を行った。まずタイにおける観測では、乾季と雨季でエアロゾルの鉛直分布パターンに明瞭な差異が見られ、このうち乾季には日周期変動が卓越していた。2波長データを用いて有機エアロゾルの光学特性を観測し、偏光解消度からこの地点で北半球春に見られる砂塵を検出した。有機エアロゾルと砂塵は内部混合的に存在している可能性がある。乾季におけるエアロゾル濃度の季節内変動も明瞭に見られ、下層から徐々にエアロゾル濃度が高まっていく様子が毎年見られた。更にこれらの季節内変動の進み方は連続観測を行った4回の乾季でそれぞれ異なっており、発生源の年々変動を反映しているものと考えることが出来る。一方南西諸島の宮古島においても、ライダーにより大気境界層高度付近に有機エアロゾルと見られる弱い偏光解消度を示す空気塊が度々観測された。化学天気予報モデルによる予報でもこの地域には東南アジアから有機エアロゾルが流入していることが示されており、日本列島上空において東南アジア起源の有機エアロゾルの影響が無視できないことが明らかになった。

[キーワード]

ライダー、鉛直分布、光学特性、季節変化、偏光解消度

1. はじめに

大気中のエアロゾル分布の計測手法は、主にサンプリングによる分析と光学観測とに分類される。このうち光学観測は、放射計を用いた地上での計測、あるいは衛星センサからの水平分布観測が広く行われているが、いずれの場合も鉛直積分量(コラム量)が求められ、エアロゾルの鉛直分布に関する情報は直接的には得られない。一方、エアロゾルの空間3次元分布を得るためには当然鉛直分布の情報が必要である。放射計算の場合などにはエアロゾル鉛直分布を仮定した大気モデル

が用いられる場合もあるが、実際に様々な時間・空間スケールで変動するエアロゾルの影響を正確に見積もるためには、鉛直分布を実際に測定することが重要となる。有機エアロゾルに関しては、その起源としてバイオマス燃焼など地表付近の現象が考えられるが、実際に発生源からどのように鉛直に輸送されて大気境界層から自由対流圏へと到達し、さらにそれが長距離輸送されて地域・全球的な環境に影響を与えるのかというメカニズムを知るためには実際に空間分布を計測することが必要不可欠である。ライダー(レーザーライダー)は、エアロゾルの鉛直分布を計測できる数少ない手法の一つである。本テーマでは、国立環境研究所が開発した連続運転型2波長偏光ライダーによる有機エアロゾルの観測から得られた知見についてまとめた。

2. 研究目的

主にバイオマス燃焼などから生じる有機エアロゾルの空間3次元分布およびその時間変動についてライダーを用いて観測し、エアロゾルの動態を明らかにする。特に、各種エアロゾルの中から有機エアロゾルをライダーデータから抽出する手法を導出すること、およびライダー長期観測結果から有機エアロゾルの各種時間スケールの時間変動を取り出して記述することを目的とする。観測地点として、有機エアロゾルの発生地であるインドシナ半島北部のタイ・シーサムロン観測所および長距離輸送されたエアロゾルが日本国内で観測される南西諸島の宮古島取り上げる。

3. 研究手法と結果・考察

(1) ライダー(レーザーライダー)と環境研ライダーネットワーク

2001年10月にタイ・SriSamrong (シーサムロン) 大気観測所に設置された2波長偏光ライダー(図1)は、Nd:YAGレーザーの基本波(1064nm)および第2高調波(532nm)を用い、大気中からの後方散光を直径20cmの望遠鏡で集光した後にPMT(532nm)およびAPD(1064nm)を用いて散乱強度を電圧に変換し、デジタルオシロスコープでAD変換して記録するものである。パルス繰り返し周波数は10Hz、鉛直分解能は6mとなっている。この仕様は、国立環境研究所が中心となって東アジア域に設置した小型ライダーの多くと共通のものである。このライダーは、天窓を備えた観測室内に設置されているため自動運転が可能であり、天候によらず24時間連続運転を通年で行っている。観測結果は電話線・インターネットを経由して国立環境研究所のサーバーへ転送され、速報図を毎日作成してWWWサーバー上で全世界へ公開している。また、日本から国際電話を通じてライダー制御用PCにログインすることでライダーの起動・停止等を行うことも可能となっている。タイに設置されたライダーの詳細な仕様を表1に示す。なおシーサムロンの観測所は2005年1月に閉鎖され、同じくタイ北部のPhimai(ピーマイ)へ移転された。このため、ライダー観測も2005年1月に終了し、2月以降はピーマイで連続観測が行われている。一方、沖縄県宮古島では気象研究所等が放射観測の拠点としている観測所にタイと同様のライダーを設置し、2002年6月から連続観測を実施している。こちらはISDN回線を利用してデータの転送やライダー制御PCの遠隔操作を行っている。シーサムロンや宮古島と同タイプのライダーは2005年1月現在で東アジア域の12箇所で稼動しており、毎時0・15・30・45分に各地でエアロゾルや雲の鉛直分布を自動観測している。環境研型ライダーが設置してある地点を、図2に示す。



図1 シーサムロンの観測所(左)と国立環境研ライダー装置(右)

表1 シーサムロンライダーの緒元

送信系	フラッシュランプ励起Nd:YAGレーザー (Quantel社 ULTRA CFR型) 出力 20 mJ/pulse (532 nm), 20 mJ/pulse (1064 nm) パルス繰り返し: 10 Hz
受信系	望遠鏡口径: 20 cm 検出器: 光電子増倍管 (532 nm, 2 偏波) (Hamamatsu社) アバランシェフォトダイオード (APD) (1064 nm) (Licel社)
信号処理系	デジタルオシロスコープ (LeCroy社) AD変換精度: 8 bits 高度分解能: 6 m (4倍オーバーサンプリング)、時間分解能: 5 分 (積算3000回)
制御・データ処理	Linux PC, 測定用ソフトはC言語で作成

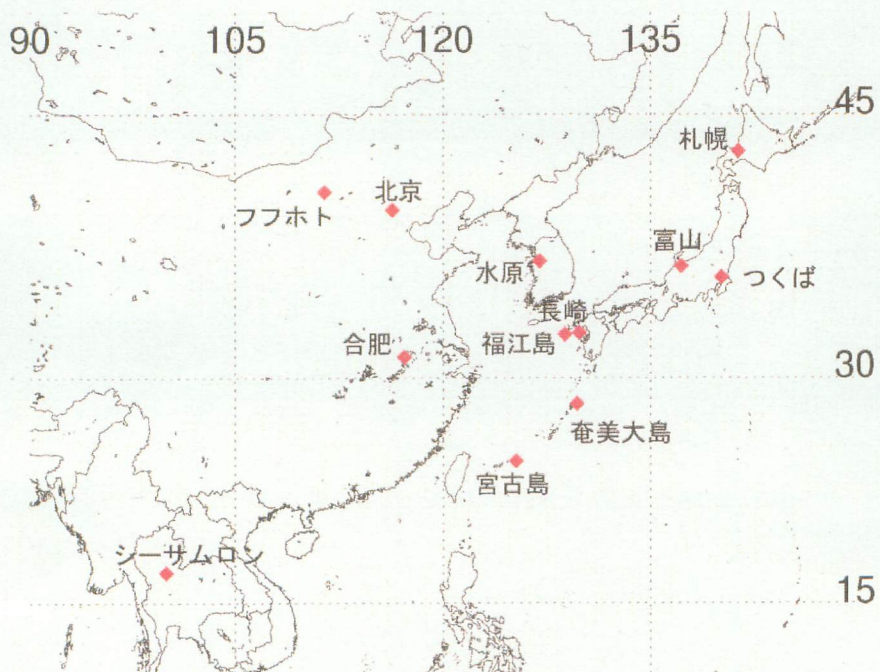


図2: 環境研型連続観測2波長偏光ライダーの設置地点(2005年1月現在)。

(2) タイにおけるエアロゾルの短時間変動

はじめに、ライダー観測例と日変動スケールのエアロゾル鉛直分布変動について述べる。図3と図4に乾季（2001年12月）と雨期（2002年7月）のデータの一例を示す。ここでは、波長532nmの距離補正信号強度の表示を示す。乾季には高度2km付近を上端とする大気境界層構造が明瞭にみられる。後に示すように境界層構造の季節変化は非常に大きい。図3では、10日程度の周期の境界層高度の変化も見られる。また、境界層内にエアロゾル濃度の異なる2層が見られる期間（12月22日まで）と、1層のみの期間（12月23-30日）がある。2層構造の場合に、ふつうは下層でエアロゾル濃度が高く、日変化も著しい。他の月のデータを見ると、それぞれのエアロゾル層の高度は11月から5月までの間でかなり変化する。下の層の高度は、日中のピーク時で1-1.5km程度である。2層のそれぞれの上端で時々雲が生成している。（雲は散乱が大きいので、図では赤く表示されている。）

一方、雨期には雲が多く、エアロゾル濃度は薄い。雲に多層の構造が見える。また、下層雲の雲底高度に1日周期の変化が見られる。最も高い雲の高度は17km前後である。

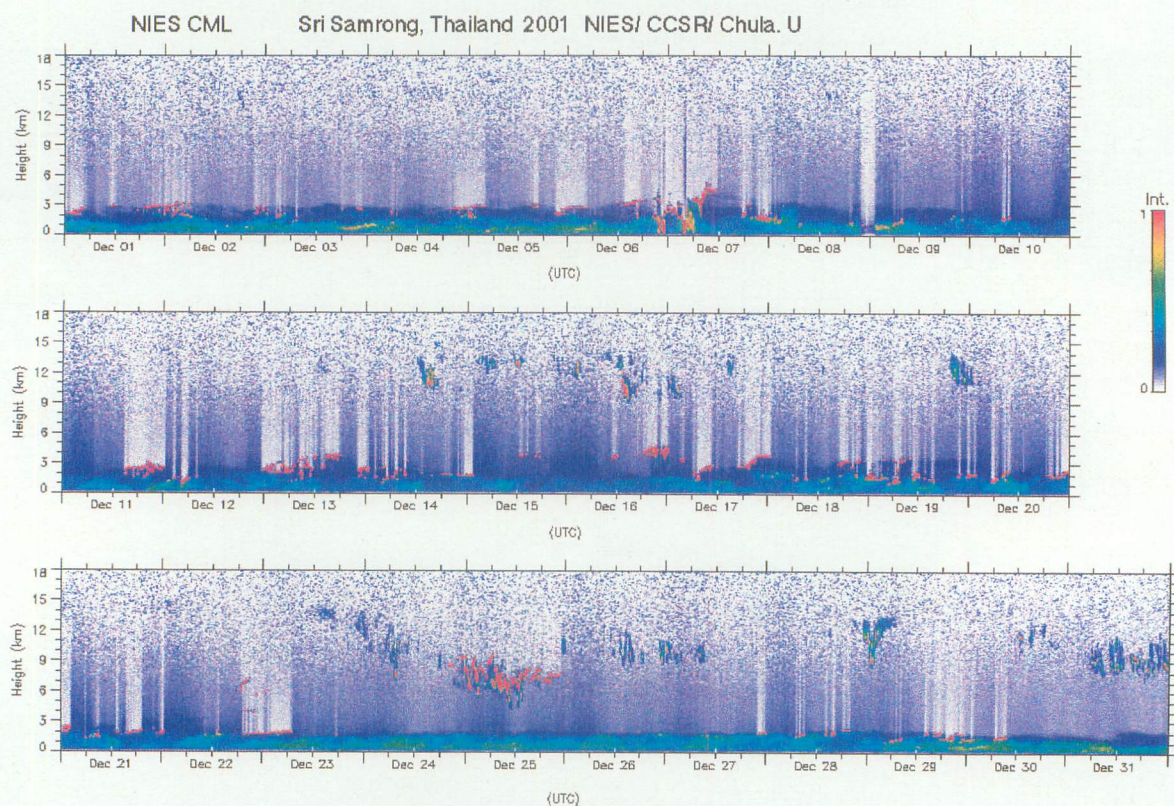


図3 距離補正信号強度の時間-高度。乾季の例（2001年12月）。

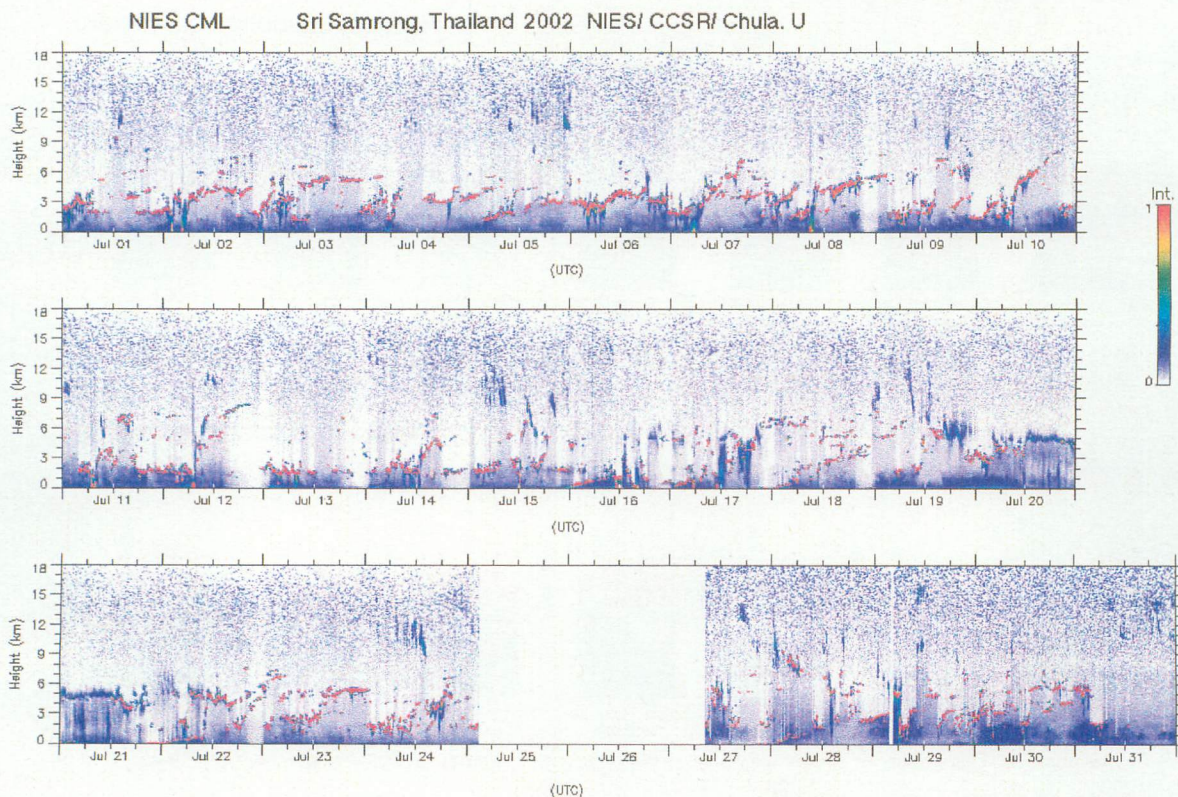


図4 距離補正信号強度の時間-高度。雨季の例 (2002年7月)。

エアロゾル層の日変化と季節変化を調べるために、消散係数の日変化の月毎のコンポジットを計算して表示した。その結果を図5の上段に示す。ここでは、乾季の11月から5月について示した。それぞれ、月平均の日変化である。エアロゾル層の上端高度は雨季に移行する直前の5月頃に最も高い。また、下層の混合層内のエアロゾル濃度は1月から4月に高く、2月、3月には地上付近で消散係数が平均で0.3/km程度に達する。

図5の下段はエアロゾル偏光解消度で、エアロゾルの非球形性を表す。まず、特徴的なことは2月から5月にかけて境界層の上部に偏光解消度の非常に高いエアロゾルがあることである。これは後に示すように、インド北西部の砂漠から飛来した鉱物性のエアロゾルであると推定される。もうひとつの特徴は下層の混合層内のエアロゾルの偏光解消度がやや高いことである。5月には上空を輸送された鉱物性エアロゾルが混合層内に取り込まれた事例もあると考えられるが、2、3月は局所的な地上起源のものが量的にはほとんどであると考えられる。2003年には2波長データがあるが、2、3月の混合層のエアロゾルの粒径は比較的小さいと推定される。この時期には野焼きが目撃されることも多く、これが主な発生源になっていると考えられる。Sri SamrongにおけるSkyradiometerのデータ(千葉大学環境リモートセンシング研究センター、東京大学気候システム研究センターによる)でも、エアロゾルの光学的厚さが2月から4月にかけて高く、粒径の指標となるオングストローム指数がこの期間、やや高い、すなわち粒径が小さいことを示している。ライダーの偏光解消度のデータはこのようなエアロゾルがやや大きな偏光解消度を持つ(非球形である)ことを示している。

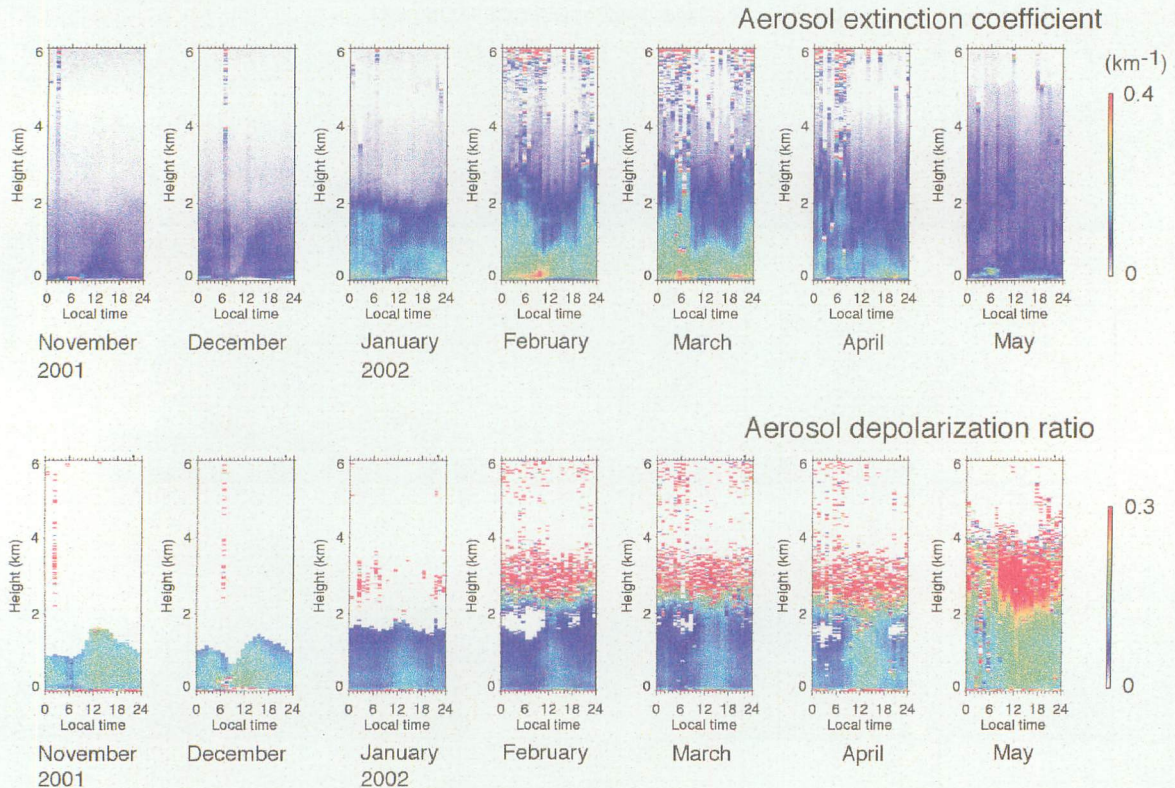


図5 エアロゾルの消散係数と偏光解消度の日変化の月毎のコンポジット。

(3) 2波長データを用いた有機エアロゾルの検出

現在、ミー散乱ライダーによる粒子種類判別の最も確実な手法は偏光解消度を利用した非球形粒子(土壌性粒子)の判別である。粒径が大きく、偏光解消度の高いエアロゾルは陸上観測ではほとんどの場合黄砂等の土壌性粒子と考えられる¹⁾。一方、それらを除いた球形粒子のうち都市域とその風下地域では人為起源の硫酸エアロゾルが、海上境界層付近では海塩粒子がそれぞれ主成分と考えられる²⁾。ここで問題になるのが炭素を含む有機エアロゾルの取り扱いで、粒径分布が幅広いことや形状が複雑であることに起因してミー散乱ライダーでは観測されたエアロゾルの成分が有機エアロゾルであることを示すためには情報量が不足している。本研究では、オゾンゾンデ観測等からバイオマスバーニングが確認されている時期の2波長ライダーデータの解析から、ミー散乱理論で合理的に結果を説明するために必要な $S1$ (後方散乱係数消散係数比)の波長依存性を導出し、ミー散乱ライダーで有機エアロゾルを捉えた可能性を示す。

ラマンライダー等と違い、ミー散乱ライダーでは後方散乱係数(β)と消散係数(α)の両方の寄与を含む量しか計測できないため、 β と α の間に一定の比例関係を仮定して解析する³⁾。この比例係数を以下 $S1$ と表現する。経験的に黄砂の解析時には $50sr$ 前後、海塩には $25sr$ 等を与えることが多い。 $S1$ はエアロゾルの粒径分布や観測波長における複素屈折率の関数であり、一般に屈折率の虚部が大きければ吸収係数が大きくなり $S1$ も大きくなると考えられる。一方、粒径分布に一定の広がりがあるエアロゾルについてミー散乱理論ではライダーで使用している $532nm$ と $1064nm$ という波長に対し、 $\alpha_{532} > \alpha_{1064}$ となることが予想される。これらの観点から、有機エアロゾルを含む空気塊のライダー観測結果を解析する。

図6(左)は、2003年4月2日における α の鉛直分布である。この計算では、532nmと1064nmそれぞれのインバージョンにおいて共に $S1=50sr$ を仮定した。2波長比プロファイルで見られる通り、1064nmにおける α が532nmにおける α よりも大きい。複素屈折率に波長依存性がないと考え、単一粒径でなく粒径分布に広がりを持った空気塊においてこのような比を得ることはミー散乱理論上困難である⁴⁾。すなわち、2波長で複素屈折率に差がないとする仮定に無理がある。そこで、可視域(532nm)では有機エアロゾルによる吸収が他の波長より卓越すると考え、 $S1$ を大きくして再計算を行った。図6(右)は、1064nmでの $S1$ は50srのまま、532nmの $S1$ を100srとして計算した結果である。2波長の α の比は、図6(左)の結果より小さくなり、532nmの α がほとんどの高度領域において1064nmのそれを上回っていることが分かる。以上の結果から、有機エアロゾルが存在する場合には、2波長で同一 $S1$ を利用すると結果が合理的に説明できず、可視域での吸収を想定して $S1$ に波長依存性を持たせる必要があることが明らかになった。

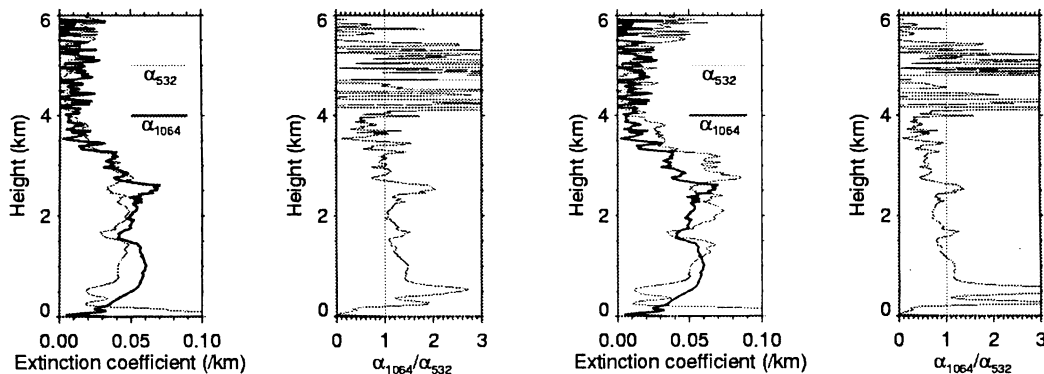


図6：2003年4月2日UTC0000における観測値から推定した消散係数鉛直プロファイルと2波長比($\alpha_{1064}/\alpha_{532}$)。(左)：2波長とも $S1=50sr$ の場合。(右)：532nmで $S1=100sr$ 、1064nmで50srとした場合。

(4) エアロゾルの混合状態

先に示したように、乾季後半には有機エアロゾルが観測所上空に到達していると考えられるが、さらに偏光解消度の観測結果からこの時期のエアロゾルには非球形性も見られる。図7に、2003年4月の消散係数2波長比および偏光解消度の時間高度断面図を示す。2波長比が大きい領域には有機エアロゾルが存在することは先に示したとおりだが、4月15日頃は同時に偏光解消度も大きい。すなわち、非球形の粒子が存在しており、大陸上であることから土壌性粒子である可能性が高い。例年、この時期にはインド北西部が起源と考えられるダストが観測されており、2003年も同様の現象が観測されたものと考えられる。更に、前節で示した有機エアロゾルの検出領域とダストの存在領域が一致しており、これらのエアロゾルの混合状態は内部混合している可能性がある。例えば本研究のサブテーマ(2)①における畠山らのAMSによる観測では、東アジア域において炭素系エアロゾルの粒径分布が他の酸性物質の粒径分布と一致する例が見られ、2種類の物質の内部混合が進んでいる様子が捉えられた。本研究では、ライダーによって検出された有機エアロゾルとダストの存在領域の対応から、それぞれのエアロゾルが内部混合している可能性が示唆された。

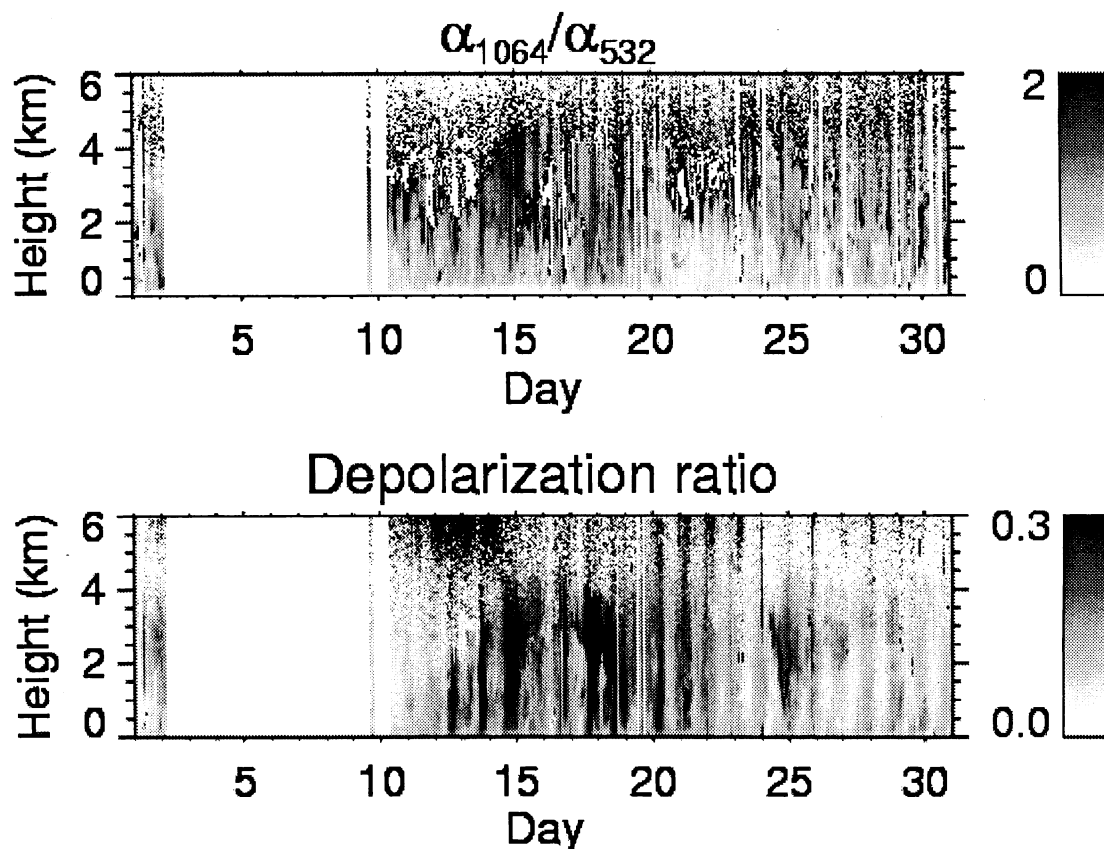


図7：2003年4月の(上)消散係数比(532nm/1064nm)(下)偏光解消度の時間高度断面図。

(5) エアロゾル鉛直分布の季節変動と年々変動

以上のように、乾季のタイ内陸部では多様なエアロゾルが存在するが、さらにその鉛直分布構造は季節進行に伴って変動している。図8(上)は2001年から2002年にかけての乾季における消散係数鉛直分布の月平均値がどのように移り変わったかを示したものである。当初、地表付近(高度2km以下)に集中していたエアロゾルが、季節が進むにつれて上空に到達していることが分かる。乾季終盤のダストを除いて、観測されたエアロゾルは局所的なものが中心であると考えられるので、これらの季節変化は以下のようなモデルで説明することが可能である。(1)雨期が終了した時点で、エアロゾルは非常に薄い。(2)エアロゾルの発生源は地表付近であるので、逆転層が低い乾季序盤は高度方向に広がりを持たずに分布する。(3)徐々に逆転層が上昇していくと、対流により混合される厚さが増え、エアロゾル上端高度も上がっていく。下層ではエアロゾルの供給が続くので光学的厚さも増える。また混合層の上昇についても、エアロゾル分布による放射伝達特性の変化(雲生成過程を通じたものを含む)が寄与している可能性がある。(4)乾季終盤には、エアロゾルが高度4km程度まで行き渡り、鉛直構造は消滅する。

同様の季節変化は、2002年から2003年にかけての乾季(図8(中))や2003年から2004年にかけての乾季(図8(下))においても見受けられるが、絶対値はこれら3回の乾季において差があった。2004年から2005年にかけての乾季前半も含めて、月平均消散係数を鉛直積分した高度4km以下の光学的厚さを図9に示す。2002年からの乾季ではエアロゾルの量がその他の年に較べて少なかったこ

とがわかる。この結果は、スカイラジオメータによる観測結果とも対応している(青木, private communication)。この年々変動の原因については今のところ不明で、ユーラシア大陸上の気圧配置パターンやエルニーニョとの関連等について今後長期的なデータを蓄積した上で検討する必要がある。ただし、4月の光学的厚さは3回の乾季で比較的近い値になっている。その理由として、1点観測のため乾季序盤には局所的なエアロゾル起源の局所性の影響を強く受けるが、乾季終盤には地域全体で発生したエアロゾルが拡散によって均一に分布するようになるため、年々の差異が小さくなっている可能性が考えられる。

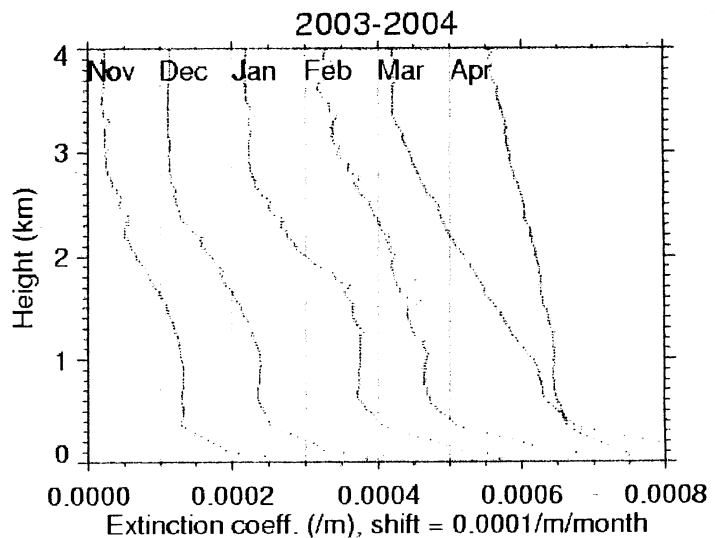
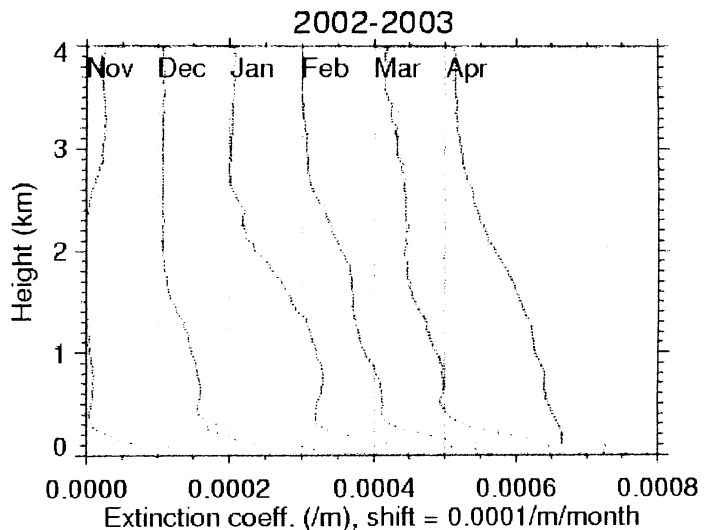
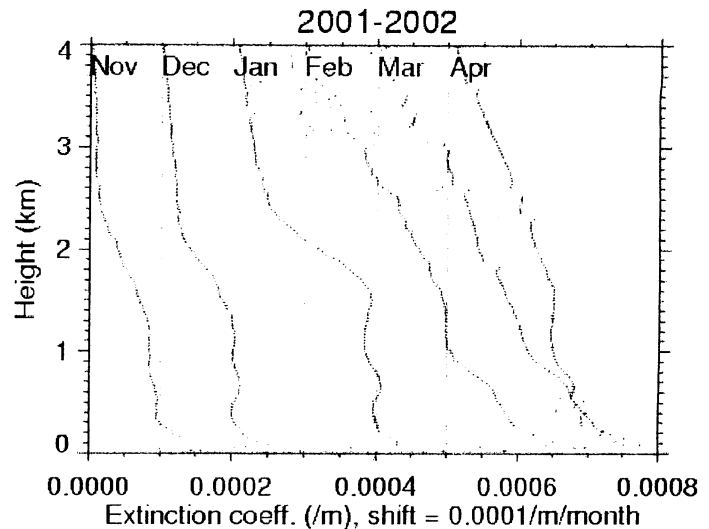


図8：乾季(11月から翌年4月)にかけてのエアロゾル鉛直分布。月平均した消散係数を示してあり、一月ごとに右へ0.00001/mずつ軸をずらしてある。上から順に2001年11月から6ヶ月、2002年11月から6ヶ月、2003年11月から6ヶ月。

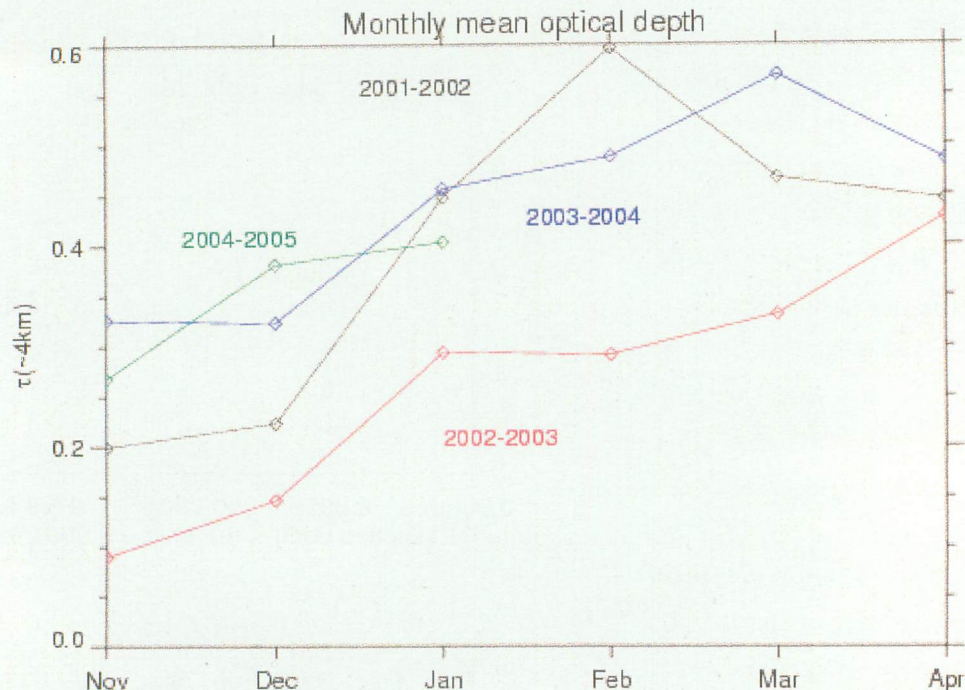


図9:4度の乾季における月平均光学的厚さ(4kmまで)の時間変化。ただしシーサムロンでの観測が2005年1月に終了したので、2005年の結果は1月までである。

(6) 南西諸島における有機エアロゾル分布観測

沖縄県宮古島は北緯約25度に位置し、低緯度熱帯域方面からの影響を受けやすい大気環境にある。この地点に設置されたライダーのデータから、有機エアロゾルと思われる空気塊を検出した。図10に2004年12月のライダー後方散乱強度の時間高度断面図および偏光解消度の時間強度断面図を示す。観測波長は532nmである。強度の断面図(図10上)には、低高度0.7-2.5km付近に強い信号がしばしば見られる。これらは海洋上の対流性積雲であり、雲底高度がエアロゾル混合層のトップと対応する。この雲より低高度、あるいは雲の切れ間から観測される上空にエアロゾルが存在するが、偏光解消度(図10中)に注目すると時折大きな値(最大0.1程度)が観測される時間帯や高度領域がある。この指標は先にタイにおける観測でも触れたように粒子の非球形性を表し、これら偏光解消度の高い領域には非球形の粒子が多く存在することが分かる。非球形のエアロゾルとして代表的なものは砂塵だが、局所的に巻き上げられた砂塵は通常高度数百m以下に見られ、時空間パターンとして地上から上空へ輸送される様子が確認されるので今回宮古島で見られたものとは傾向が一致しない。そもそも周囲を海に囲まれた宮古島では十分な砂塵発生地が存在しない。また、ユーラシア大陸で発生し太平洋方面へ輸送される黄砂も上空を漂う非球形粒子の代表的なものだが、この季節(12月)には発生地域の地表面状況から大規模発生は考えられない。即ち、今回宮古島上空で観測された非球形粒子は砂塵ではない。他の可能性は、有機エアロゾルのうち比較的粒径が大きいものである。連鎖状のすすや微小な灰など、主にバイオマス燃焼により発生する有機エアロゾルには非球形性を示すものが多いと考えられる。ライダーによる観測は実際の成分を分析するわけではないが、エアロゾル形状の情報からこの時期宮古島上空に頻繁に有機エアロゾルを含む空気塊が到達したと考えるのが妥当である。

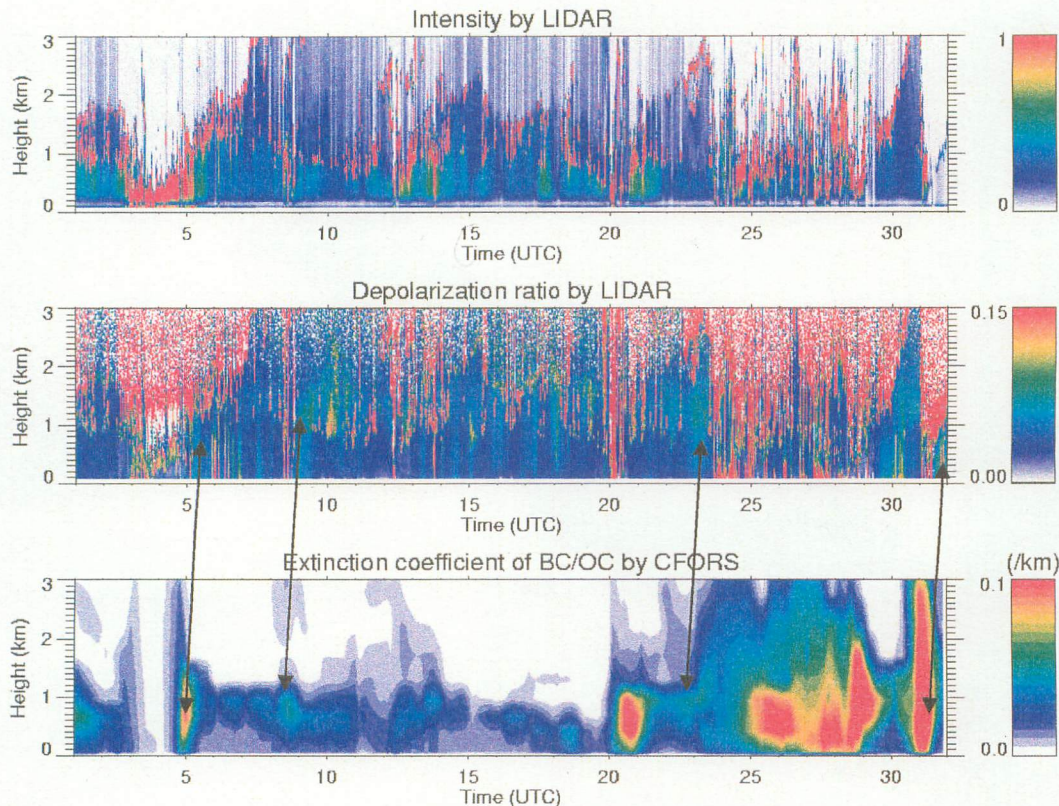


図10：宮古島におけるライダー観測結果とモデル予報値の時間高度断面図。2004年12月1日～31日の結果を示す。(上)ライダー後方散乱強度。光を散乱するエアロゾルが多いほど値が大きく、赤い部分は雲を表す。(中)ライダー偏光解消度。非球形粒子が多く存在すると大きくなる。(下)CFORSによる有機エアロゾル消散係数。エアロゾル予報量と光学モデルの組み合わせから、有機エアロゾルが光(550nm)を消散させる強さを求めたもの。下段のモデル消散係数と中段の偏光解消度(観測値)の対応が見られる部分を矢印で結んだ。

この点について、ライダー観測結果と比較するため化学天気予報システムCFORS (Chemical weather Forecasting System) を取り上げる。CFORS⁵⁾は九州大学応用力学研究所の鶴野伊津志教授らが開発したエアロゾル・微量気体を3次元空間で予報するためのモデルで、気象モデルRAMSを利用し、予報領域として東アジア域を含む東西75度、南北55度の範囲を対象としている。本研究では、九州大学から国立環境研究所大気圏環境研究領域遠隔計測研究室へ移植されたCFORSを利用した。このCFORSでは気象場の境界条件として気象庁が提供する全球予報モデル値(GPV)を利用し、微量気体やエアロゾルの発生源にはインベントリデータや診断的手法が用いられている。有機エアロゾル(Organic Carbon/Black Carbon)についてはインベントリデータが用いられているので、人間活動に伴う発生源(焼畑や家庭内燃焼など)は含まれるが森林火災など自然由来のものは含まれない。これらのエアロゾルの発生・輸送・除去過程を含む計算結果が各種成分の3次元分布として3時間ごとに予報される。本研究ではこの予報結果を蓄積したデータベースから2004年12月分を取り出し、宮古島ライダー観測地点に最も近い東経125度・北緯25度の地点の時間高度断面を作成

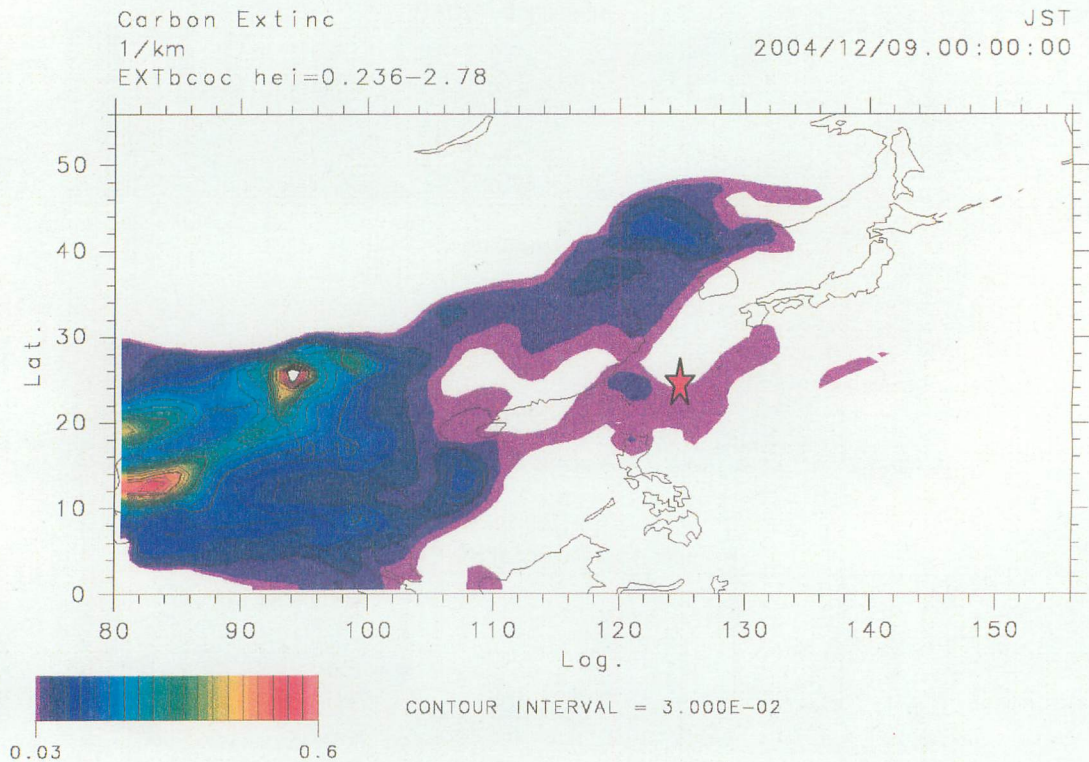


図11：CFORSによって予想された2004年12月9日0時(日本時間)における有機エアロゾル消散係数の水平分布。高度範囲は下部対流圏(0.2-2.8km)の平均値。赤い星印が宮古島の位置を示す。

した。有機エアロゾルの消散係数を描いたものが図10(下)である。これによると、この1ヶ月間に数度有機エアロゾルの光学的影響が強まる時期があることが分かる。それらの時期には、インドシナ半島で最も有機エアロゾルが多く存在し、南シナ海から中国南部の内陸部方面でも有機エアロゾルが多い。そしてそれらの一部が台湾から日本の南西諸島方面へも流れ出しており、この地域の放射場へ影響を与えている。図11は宮古島上空で有機エアロゾルと考えられる非球形粒子が観測された12月9日におけるCFORS予報結果の有機エアロゾル水平分布である。この時、南西諸島は中国内陸部を覆っている有機エアロゾル空気塊の端に位置していたことが分かる。ただし、図10において細かくモデル結果とライダー観測結果を比較すると、有機エアロゾルが見られる高度に差があることが分かる。即ち観測では混合層上端に見られる積雲の雲底高度より上で偏光解消度が高いケースが多いのに対し、モデルでは地表付近で有機エアロゾルが最も多い。これは、ライダーが有機エアロゾル以外の球形粒子も同時に検出していることが理由の一つとして挙げられる。即ち、低高度に存在する海塩粒子などの球形粒子(偏光解消度はゼロ)によって、下層の偏光解消度は全体として小さくなる。逆にそれらが少ない高度領域では、相対的に非球形の有機エアロゾルの寄与が強いため偏光解消度が大きくなるものと考えられる。これらを総合すると、ライダー観測で見られる偏光解消度の増大はインドシナ半島や中国内陸部から長距離輸送された有

機エアロゾルによるもので、これらは高度2km以下を漂っていると考えられる。一方、ライダー観測結果からエアロゾル予報モデルを評価すると、有機エアロゾル層が地表から高度1.5km以下に集中して予報されているのはエアロゾル層の厚さが薄すぎ、実際には有機エアロゾルはもっと高高度を流れてきていると考えられる。宮古島では先に述べた通り図10の1-2km付近に強い散乱信号をもたらす積雲が頻繁に見られるが、この現象は空間的に非常に小規模なためCFORSの計算格子では再現されない。即ちCFORSにおいて積雲パラメタリゼーションが行われているが、これらが宮古島のような島嶼部では十分に現実を再現していない可能性が考えられる。

4. 本研究で得られた成果

2波長偏光ライダーによるタイ内陸部シーサムロン大気観測所における観測結果から、有機エアロゾルに関して以下のような知見が得られた。(1)乾季において、エアロゾル混合層鉛直構造に非常に明瞭な日変化が見られる。(2)ミー散乱ライダーによる2波長観測結果は、可視域での強い吸収を前提としたS1の導入によって説明する必要がある。(3)有機エアロゾルが存在する時期に、ダストによると考えられる非球形性が観測された。これら多種のエアロゾルは、内部混合状態にある可能性がある。(4)乾季の進行に伴うエアロゾル鉛直分布の変化が明瞭に示された。さらにこの季節進行には、大きな年々変動が存在することも明らかになった。また同様のライダーによる宮古島での観測では、有機エアロゾルと思われる空気塊が冬の日本列島にしばしば到達していることが示された。以上のような結果を踏まえ、さらに継続して観測を行いデータを収集するとともに、よりの確にエアロゾル種別をリモートセンシングによって判定するアルゴリズムを開発すること、およびエアロゾルの鉛直分布を取り入れた放射対流モデルなどを用いて実際にアジア域の有機エアロゾルによる放射強制力とその変動を見積ることなどが必要であると考えられる。

5. 引用文献

- 1) Murayama, T., H. Okamoto, N. Kaneyasu, H. Kamataki, and K. Miura, Application of lidar depolarization measurement in the atmospheric boundary layer: Effects of dust and sea-salt particles, *J. Geophys. Res.*, *104*, 31,781–31,792, 1999.
- 2) Heintzenberg, J., Fine particles in the global troposphere A review, *tellus*, *41B*, 149–160, 1989.
- 3) Fernald, F. G., Analysis of atmospheric lidar observations: Some comments, *Appl. Opt.*, *23*, 652–653, 1984.
- 4) Bohren, C. F. and D. R. Huffman, *Absorption and Scattering of Light by Small Particles*, John Wiley and Sons, Inc., 1983.
- 5) Uno, I., S. Satake, G. R. Carmichael, Y. Tang, Z. Wang, T. Takemura, N. Sugimoto, A. Shimizu, T. Murayama, T. A. Cahill, S. Cliff, M. Uematsu, S. Ohta, P. K. Quinn, and T. S. Bates (2004), Numerical study of Asian dust transport during the springtime of 2001 simulated with the Chemical Weather Forecasting System (CFORS) model, *J. Geophys. Res.*, *109* (D19), D19S24, doi:10.1029/2003JD004222.

6. 国際共同研究等の状況

シーサムロン大気観測所およびその後継サイトであるピーマイ観測所はSKYNET(アジア大気放射ネットワーク)の一環としてタイ・チュラロンコン大学橋爪道郎教授らのグループと共同で運営しているものである。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表(学術誌・書籍)

<学術誌(査読あり)>

- ① N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, I. Uno, K. Asai, T. Endoh, T. Nakajima, Observation of dust and anthropogenic aerosol plumes in the Northwest Pacific with a two-wavelength polarization lidar on board the research vessel Mirai, *Geophys. Res. Lett.* 29, 10, 2002GL015112 (2002).
- ② N. Sugimoto, Network observations of Asian dust and anthropogenic aerosols with dual-polarization Mie-scattering lidars, in *Laser Remote Sensing in Atmospheric and Earth Sciences* (Reviewed and revised papers presented at the 21th International Laser Radar Conference), edited by Luc R. Bissonnette, Gilles Roy, and Gilles Vallée, Québec, Canada, pp.269-271 (2002).
- ③ A. Shimizu, H. Hashiguchi, S. Fukao, T. Tsuda, N. Sugimoto, and I. Matsui, A direct estimation of the vertical flux of aerosols with simultaneous observations by a wind profiler and a Mie-scattering lidar, in *Laser Remote Sensing in Atmospheric and Earth Sciences* (Reviewed and revised papers presented at the 21th International Laser Radar Conference), edited by Luc R. Bissonnette, Gilles Roy, and Gilles Vallée, Québec, Canada, pp.223-225 (2002).
- ④ Shimizu, A., N. Sugimoto, I. Matsui, K. Arao, and Y. Chen: Observations of dust and spherical aerosols with networked polarization lidars in Asia. Reviewed and Revised Papers Presented at 22nd International Laser Radar Conference, pp.873-876 (2004)

<学術誌(査読なし)>

なし

<書籍>

なし

<報告書類等>

なし

(2) 口頭発表

- ① N. Sugimoto, Lidar methods for measuring distributions and characteristics of aerosols and clouds, 12th International School on Quantum Electronics on Laser Physics and Applications, Varna, Bulgaria (2002).
- ② 清水 厚、橋口浩之、津田敏隆、深尾昌一郎、杉本伸夫、松井一郎、ウインドプロファイラー・ライダー同時観測によるエアロゾル鉛直フラックスの遠隔計測、日本気象学会2002年度

春季大会（さいたま2002）。

- ③杉本伸夫、清水 厚、村山利幸、柴田 隆、アジア域のエアロゾル、雲のライダー観測、第9回大気ライダー観測研究会（東京 2002）。
- ④Shimizu, A., N. Sugimoto, and I. Matsui, 2003a: Lidar observations of clouds and aerosols in SKYNET. in *2003 International Symposium on the Climate System of Asian Monsoon and its Interaction with Society (SKYNET Data Analysis Workshop)*, Khon Kean, Thailand.
- ⑤Shimizu, A., N. Sugimoto, I. Matsui, K. Arao, X. Dong, J. Zhou, C.-H. Lee, and M. Hashizume, 2004: Monitoring of aerosol distribution in Asia with networked Mie lidars. in *Asian Lidar Network Conference 2004*, Hong Kong.
- ⑥清水厚, 杉本伸夫, 松井一郎, 2003a: タイにおける対流圏エアロゾル・雲のライダーによる気候学的観測. 2003 年度日本気象学会秋季大会, 278, 仙台.
- ⑦清水厚, 杉本伸夫, 松井一郎, 2003b: 自由対流圏から境界層内へ取り込まれるエアロゾルのライダーによる観測. 2003 年度日本気象学会春季大会, 259, つくば.
- ⑧清水厚, 杉本伸夫, 松井一郎, 荻野慎也, 2004b: タイにおけるモンスーンに伴うエアロゾル層・雲分布変動の観測. 第10回ライダー大気観測研究会, 23- 25, 東京.
- ⑨Shimizu, A., N. Sugimoto, and I. Matsui: Observations of aerosols and clouds with Mie-lidarnetwork. *International Radiation Symposium, 2004*, p.54, Busan, Korea, 2004, August.

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし

8. 成果の政策的な寄与・貢献について

今後、UNEP/ABCに関わるシンポジウム等でも本研究成果を積極的に公開し、地域・地球規模での気候問題におけるエアロゾル鉛直観測の重要性を訴えていく。