

1. 研究テーマ

- (1) 研究領域 : 「地球変動のメカニズム」
- (2) 研究総括 : 浅井 富雄
- (3) 研究代表者 : 中島 映至
- (4) 研究課題名 : アジア域の広域大気汚染による大気粒子環境の変調について
- (5) 研究期間 : 平成11年11月～平成16年10月

2. 研究実施の概要

APEX (Asian Atmospheric Particle Environmental Studies)は1999年11月から2004年10月にいたる5年間のプロジェクトである。本研究では、アジア域の大気汚染が引き起こす直接・間接の気候影響を調査することを目的にする。そのためにとった新しい戦略は(1)エアロゾル、雲粒、霧粒までの雲のライフサイクルに関わる全粒径スペクトル分布の観測とモデリング、(2)粒子系の光学特性パラメーターと大気力学的、化学的パラメーターとの依存性に関する観測とモデリングを中心に研究を組み立てることであった。そのために地上観測班、航空機観測班、アクティブセンシング班、衛星リモートセンシング班、モデリング班の4班によって研究を実施した。本研究の対象である人為起源の大気汚染エアロゾルが引き起こす様々な気候影響には、エアロゾルが太陽放射を直接反射する直接効果(エアロゾルによる日傘効果を引き起こす)、雲を変化させる間接効果(雲による日傘効果を引き起こす)、放射加熱による雲量変化が作り出す準直接効果等がある(図2.1)。また、このようなエアロゾルの一次的な気候影響によって発生するエネルギー収支のアンバランスを解消するように大気・海洋系の2次的な大循環が励起される。

本研究においては、まず、エアロゾルと雲場に関する地上、航空機、人工衛星、新たに開発した雲レーダーとライダーを組み合わせたアクティブセンシングシステムから得られる観測事実の積みあげを行った。そのためにセミ・リアルタイムでデータを収集するSKYNETネットワークの設営を行った(図2.2)。同時に九州・奄美大島付近で航空機も投入した局地観測実験APEX-E1, E2, E3を実施し、これらの異なる研究手法を総合的に適用する機会を得た。それらの観測によると、東アジア域で見られるエアロゾルは、硫酸塩エアロゾル、有機炭素性エアロゾル、土壌性エアロゾル、海塩エアロゾルが複雑に混ざった系であり、その光学的特性も複雑であることが明らかになった。地上で観測される放射強制力は非常に大きく変動も大きい、求められたエアロゾルの光学的特性によって整合的に説明できるものであることも確認した(図2.3)。集中観測域である済州島Gosanと奄美大島領域においては、自然起源を含む全エアロゾルの直接効果の大きさは大気上端で-1 から-3 W/m²程度であるが、大気下端では数十W/m²にも及ぶことが定量的に示された。間接効果の大きさは大気上下端とも-1 から-3 W/m²程度である。雲の放射強制力や大気下端における潜熱・顕熱フラックスの大きさが20から100 W/m²程度であるから、エアロゾルの大気下端での直接効果の寄与はきわめて重要であることが分かった。

これらの知見は人工衛星のデータ解析によって広域に拡張される。本研究においては、他で解析されたできあいの衛星解析結果を使うのではなく、放射輝度データから新しい衛星成果物を作るように努力した。例えば、近紫外から近赤外域における4つの波長を

使った4チャンネル法によってエアロゾル種やエアロゾルの光学的厚さの広域分布を世界で初めて導出した。さらに雲の光学的厚さや有効粒子半径の広域分布も衛星データから得ることができた。ちょうどこの時期は、SeaWiFS、EOS/MODIS、ADEOS-II/GLIと言った次世代型のイメージャーが登場した時期であったので、従来のAVHRRセンサーの解析とあわせて豊富なデータを利用することができた。その結果、これらの独自路線によって世界に注目する成果を出すことができた。さらにこのようにして得たエアロゾルと雲の光学パラメーター同士の相関を取ることによって、エアロゾルが引き起こす間接効果の大きさを観測から見積もることもできた。それによると、人為起源エアロゾルが作り出す間接効果の放射強制力は全球平均で -1.4 W/m^2 程度であった。現在、この値は広く世界的に引用されている（図2.4）。

これらの観測的研究手法の開発と平行して、4種（硫酸塩、炭素性、土壌性、海塩）のエアロゾルの濃度や光学的厚さと言った光学パラメーターの全球分布を計算できるSPRINTARSエアロゾル化学輸送モデルを開発した。SPRINTARSモデルによって計算された光学的厚さと一次散乱アルベドは、SKYNETやSky-sunphotometerを配備したNASA/AERONET（Aerosol Robotic Network）から得られる地上観測値と比較され、モデルをチューニングすることができた。このようなモデル検証を経て得られたエアロゾル分布と特性に従って計算されたエアロゾルの放射強制力の値は、現存する他の気候モデルのものに比べて信頼のおけるものであると考えている。SPRINTARSを使った計算によると、人為起源エアロゾルが過去150年間に引き起こした直接効果の放射強制力は大気上端で -0.06 W/m^2 と非常に小さく、人為起源エアロゾルが地球の惑星反射率をそれほど変えてこなかったことがわかった（図2.4）。これは地上観測でも示されたように、人為起源エアロゾルに含まれる黒色炭素による強い光吸のためである。一方、間接効果の大きさは大気上下端とも -1 W/m^2 程度の大きさであり、地球の惑星反射率を大きく変えて地球系を冷やしている。人為起源温室効果ガスの温室効果の大きさは $+2.6\text{ W/m}^2$ 程度であるから、その約1/3を間接効果が相殺していると思われる。このような結論は間接効果の重要性を物語るものであるが、決して直接効果が無視できることを意味してはいない。すなわち、地表面で見ると直接放射強制は海域で -1 W/m^2 、陸域で -2.3 W/m^2 もあり、エアロゾルによって太陽放射の強い減少が起こっていることがわかる。そのために海域と陸域の間には 1 W/m^2 にのぼるエネルギー収支の差が生じるために二次的な大循環が発生する。先にも見たように東アジアなどの大気汚染が激しい領域ではさらにこの10倍もの放射強制がかかるために、誘発される二次循環はモンスーンなどの自然起源の循環をも変える力をもっていると考えられる。

APEX研究はこのような点を明らかにして終了するが、研究の最終段階では観測事実によって良く検証された全球気候モデルによって降雨量の変化も見積もることができるようになってきた。もちろん、このような評価は1990年代から出てきてはいるがその信頼度は低いと言わざるを得ない。APEX研究によって行われた最新のシミュレーションによると降雨量の変化はエアロゾルの直接効果、間接効果、さらにそれらが作り出す二次循環によって複雑に変化していることが明らかになった。おおむねアジア域においては降雨は抑制される傾向にある。それは中国と日本の南方海上で大きく -0.5 mm/day にも及んでいる。

これらの成果は、現在進められているIPCC第4次報告書の策定過程や、世界最大のスーパーコンピュータを使用するRR2002共生プロジェクトなどに適宜反映されており、

APEX研究の波及効果は大きいと考えられる。現在、UNEP（国連環境計画）によってABC（Atmospheric Brown Cloud、大気の褐色の雲）と言うアジア域の大気汚染が作り出す気候・環境影響を研究するプロジェクトが立ち上がりつつあるが、このような国際プロジェクトにもAPEXの研究成果は引き継がれている。

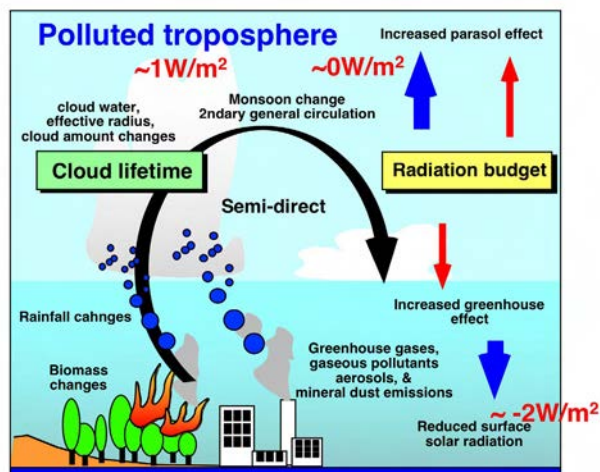


図 2. 1. 大気汚染によって汚れた対流圏中で発生する様々な現象と本研究によって評価された全球平均の放射強制力のおおまかな値。



図 2. 2. 本研究で設営した SKYNET および研究に役立った放射とエアロゾルに関する観測サイト。

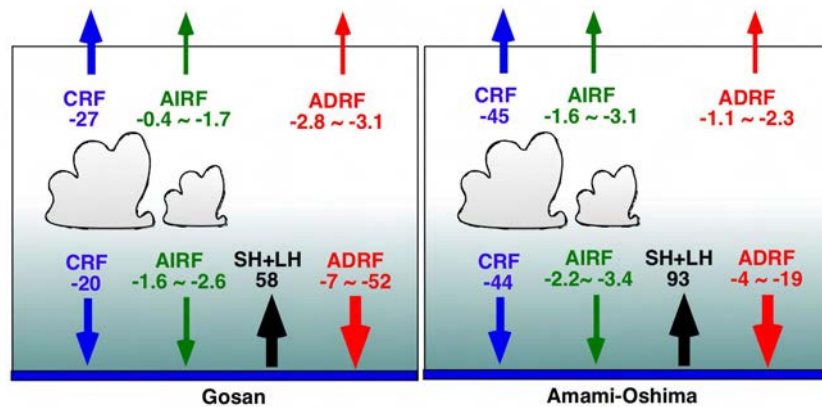


図 2.3. 奄美大島領域と済州島 Gosan 領域の 3-4 月期の放射収支。大気上下端における全エアロゾルによる直接効果の放射強制力 (ADRF)、間接効果の放射強制力 (AIRF)、雲の放射強制力 (CRF)、海面上における顕熱と潜熱フラックス (SH+LH) (W/m^2)。 (Nakajima et al., 2003)

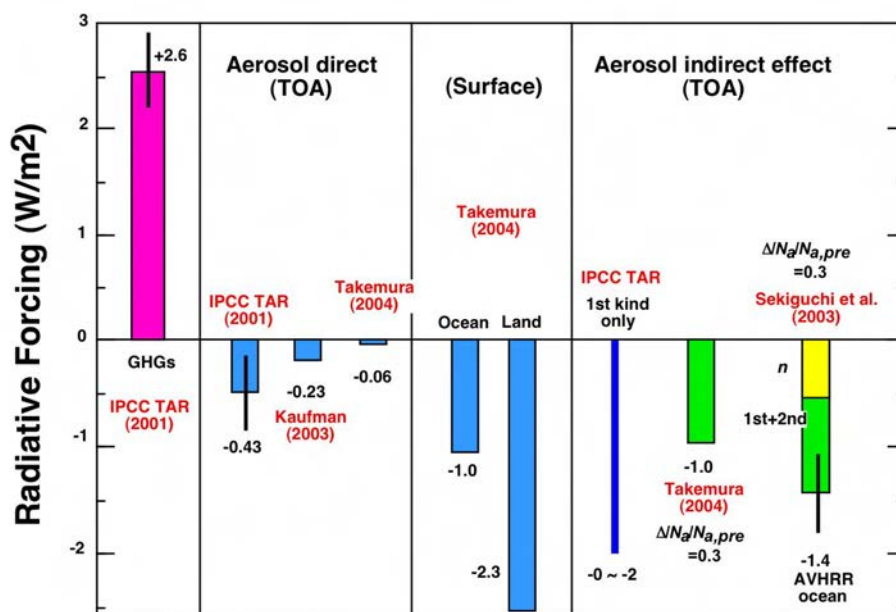


図 2.4. 本研究によって得られた人為起源エアロゾルの放射強制力の大きさ。

3. 研究構想

本研究の目的は、アジア域の大気汚染エアロゾルが作り出す直接・間接の気候影響を評価することである。そのために、エアロゾルと雲微物理に関する同時観測や放射場と大気化学状態の同時観測などを実施できる地上観測サイトの設営、それらの結果を広域に拡張するための衛星データ解析システム、そして観測結果を解釈するためのモデル開発が必要であった。また、ひとくちに観測と言っても、この種の観測は欧米においては航空機を用いて行うのが通例であるが、我が国における航空機観測基盤は弱いと言う問

題を克服する必要もあった。そこで研究を世界的レベルで遂行するために、新しく 95GH の測雲レーダーと 2 波長の偏光ライダーを組み合わせたユニークな地上リモートセンシングシステムを開発し、観測船「みらい」に搭載して航空機観測に匹敵するデータを得ることを考えた。以上のような研究構想のもとに、地上観測班、航空機班、アクティブセンシング班、衛星リモートセンシング班、モデリング班にわかれて研究を進めた。これらの班の間や国外の主要研究者との間に共同研究が生まれるように、年 1 回、計 5 回の国際ワークショップと 2 回の国内ワークショップを開いてきた。また 3 回の局地観測実験を実施した。その過程で、ともすると閉鎖的になりがちな異分野間（例えば、大気化学と雲物理、大気化学と大気放射等）の交流が生まれ、世界的にもユニークなコミュニティが形成された。そこから生まれた若手研究者も、このような APEX 研究で得られた観測からモデルに至るまでの総合的な研究手段によって、より科学的におもしろいストーリーの論文を書くことができるようになったと思う。

このような異分野の研究協力を促進するためのもうひとつのメカニズムとして、SKYNET という観測ネットワークの確立が功を奏している。すなわち、アジア域に展開された放射とエアロゾルに関する高度な観測測器を持つ観測サイトからデータを自動受信して、支援のための衛星データ解析結果、モデルシミュレーション結果とともにウェブで自動公開する仕組みを考えた。これらの結果は APEX Virtual Laboratory のウェブサイトでも見られる。このような仕組みによって、研究者がいつでも観測結果の解析や、他分野で得られた結果を見ることができ、そのことによって研究の進捗と相互協力が増したと言える。

もちろん、研究目的であるエアロゾルの気候影響の理解は非常に難しいテーマであり、ともすると活動が拡散ぎみになったことも否めない。しかし、4 年半を経過した段階で研究を振り返ってみると、非常に広大な研究領域を非常に効率的に網羅して最終結果にたどり着きつつあると結論できる。現在、モデルによって降雨量の変化を見積もる最終段階に入っているが、そこに至るモデルのチューニングには APEX 研究で得た観測的事実が適切に反映されている。従って、モデルの信頼度は世界のもっと大規模な気候センターで開発したモデルに比べても高いものと思われる。研究期間の 5 年間はこのような壮大な研究テーマにとっては短く、未完成のジグソーパズルのように他のピースと組み合わせることができない観測事実も散在している状態であるが、モデルによるシミュレーション結果が増えるにつれてこれらのピースの置き所も明らかになってくるものと思われる。

今後は得られた SKYNET のアイデアを拡張することによって、アジア域の大気汚染エアロゾルが作り出す気候・環境影響をセミリアルタイム的に解析しながら、研究を進めるような実用的なシステムを作成してみたい。このようなシステムは、人間活動が引き起こす気候・環境被害が深刻になる現状では良い早期警戒システムになるであろう。また、APEX 研究で得た大気化学、大気放射学、雲物理に関連する観測事実とモデリングの経験を活かして、雲と降水をより良く再現することができるメソスケールの非静力学雲モデルを開発するプロジェクトも提案したい。そこではエアロゾルが雲と相互作用する様子が高空間分解能で詳細に再現されるであろう。

4. 研究成果

4. 1. はじめに

1999年に始まったAPEX (Asian Atmospheric Particle Environmental Studies)は2004年10月をもって5年間のプロジェクトを終了する。この間、協力をしていただいたAPEXサイエンスチームの関係者、事務局、および国内外の研究協力者に感謝を申し上げる。本研究は、アジア域の大気汚染が引き起こす直接・間接の気候影響を調査することを目的にする。そのために(1)エアロゾル、雲粒、霧粒までの雲のライフサイクルに関わる全粒径スペクトル分布の観測とモデリング、(2)粒子系の光学特性パラメーターと大気力学的、化学的パラメーターとの依存性に関する観測とモデリングを行うと言う戦略を取ることを提案した。この時期はまだ、IPCCの第3次報告書(IPCC, 2001)が作成される前の時点であった。IPCCの第2次報告書(IPCC, 1996)による人為起源エアロゾルの直接および間接の気候影響に関するまとめによると、大気上端での全球平均の放射強制力の評価は -0.5 W/m^2 のまわりに50%程度のばらつきがあった。また間接効果は0から -1.5 W/m^2 と平均値も示せない状況であった。このようにスタート当時は研究は五里霧中の状況のなかにあり、上のような二つの戦略の有効性については明かでないところもあった。

しかし、5年を経た今、これを振り返ってみると、この研究構想が正しい方向を示していたことが明らかになった。すなわち、この間は当該テーマに関する研究は活況の様相を呈しており、多くの革新的な研究が国際的に発展した時期に当たっていたのである。IPCCの第3次報告書が2001年に発行されたが、人為起源のエアロゾルの放射強制力の評価は直接・間接効果とも第2次報告書から大きく変化するものではなかったが、進歩があった。直接効果は -0.4 W/m^2 程度でエラーバーが小さくなった。間接効果は相変わらず0から -1.5 W/m^2 程度であるが、これは第一種の間接効果についての評価であると言う限定がついた。一方で、大循環モデルの研究では、ハドレーセンターのモデル、ミシガン大学のモデル、マックスプランク研究所のモデルなどが、さかんにエアロゾルの直接効果と間接効果のシミュレーションを開始した時期であった。我が国ではSPRINTARSエアロゾル化学輸送モデルが作られ、CCSR/NIES大循環モデル(Numaguti et al., 1995)に組み込まれて、他のモデルに先駆けて4種混合のエアロゾルの光学特性と放射強制力を求めることができた(Takemura et al., 2000)。その中で、Nakajima and Higurashi (1998)によって始めてエアロゾルの光学的厚さとオングストローム指数の全球分布がAVHRRの2チャンネル法によって示されるに至って、これらのモデル結果が始めて全球での観測的事実と比較できるようになってきたのである。IPCCの第3次報告書にはこの衛星とモデルの比較図が示されている。衛星観測ではその後、SeaWiFS、ADEOS/OCTS、POLDER、EOS/MODIS、ADEOS-II/GLIなどの多波長でかつ感度の高い次世代型のイメージャーが出てきて、より詳細なエアロゾルの全球分布が得られ始めた。その進歩はめざましく、現在では局地観測実験などではほぼリアルタイムでエアロゾルの分布をウェブ上で見るができるようになった。さらにNASAが展開したAERONET (Aerosol Robotic Network) が急速に発展し現在では200点以上の観測点が全世界に配置され、エアロゾルの光学的厚さ、一次散乱アルベド、粒径分布を提供するようになってきた。さらに雲への間接効果と言う非常に困難な研究も、米国の若手研究者を中心に活発に開始されるようになってきた。

APEXはこの発展期に展開されたプロジェクトであり、以降の章で示すように数々の有

効な研究成果を世界に発信することができた。上に述べたSPRINTARSモデルとエアロゾルのリモートセンシングアルゴリズムもAPEX研究によって育まれたものであると言って良い。その貢献により世界のエアロゾル研究者に対するAPEXの認知度は高いと言える。その決算として得られたエアロゾルの気候影響に関する知見は世界的レベルにおいても一流であり、信頼に足るものであると自負している。それは地上と衛星からの観測的な知見、モデルによる知見、そして新しいアクティブセンシングからの知見を統合的に説明できるものである。もちろん、この壮大なテーマを詳細に渡って研究するには5年と言う歳月はあまりにも短いものであり、得られた結果は絵画で言うデッサンの段階に当たるかも知れないが、そこに描かれたイメージは現在の視点から見ても革新的なものであると考える。

4. 2. プロジェクト全体の成果に関する概要

(1) プロジェクト全体から見た成果

本研究の成果については、本研究の研究体制である地上観測班、航空機観測班、アクティブセンシング班、衛星リモートセンシング班、モデリング班ごとに次章以降で報告するが、ここではプロジェクト全体の観点から成果のハイライトを総合的にまとめる。

温暖化現象をはじめとする人間活動が引き起こす気候影響のうち、エアロゾルの気候影響は、エアロゾルの大気滞留時間が短いことや、その特性が複雑であることによって極めて大きな地域依存性を持っている。従って、世界の4割から5割の大気汚染物質を排出するアジア域での研究が非常に重要である。APEX 研究ではこの点を認識して、アジア域の大気汚染エアロゾルが引き起こす気候影響を観測して、評価することから研究を開始した。図 4.1 は CFORS メソスケール大気化学輸送モデルから得られた 2001 年 2 月から 4 月における期黒色炭素の水平分布と時系列であるが、同時期に得られた地上観測値と良い一致を示す (Uno et al., 2003b)。モデル内での黒色炭素の発生源は日変化するようにとは与えられていないに関わらず、再現された地表面での黒色炭素濃度は観測に見られる激しい変化を示しており、エアロゾルの輸送過程において気象条件の変化が最も大きな影響を与えていることを示している。また、図は現在の大気化学輸送モデルが、エアロゾル濃度をかなりよく再現する能力を有していることも示している。APEX 研究では CSORS メソスケールモデルと SPRINTARS 全球モデルを多用してエアロゾル分布に関する詳細なシミュレーションを行ってきた。それによるとアジア域の大気は硫酸塩、炭素性、土壌起源、海塩起源のエアロゾルが複雑に入り交じっており、特にこの図に示すように黒色炭素が広く分布している。その比率は高く、奄美大島のような遠隔サイトでも全重量の 5% から 10% に及んでおり、エアロゾルは強く太陽放射を吸収するようになる。そのためにエアロゾルの直接効果による放射強制は地表面で大きな負の値になる。すなわち、太陽直達光が減衰して強い日傘効果を作り出す。

APEX 研究では 2 波長偏光ミラーライダーを SKYNET サイトに導入してこのようなエアロゾル層のモニタリングを連続してできる体制を作った。連続運転型のライダーの導入は、ライダーの気象学研究への利用において画期的で、図 4.2 に示すようにエアロゾルと雲の高度と時間変化を刻々と捉えることができる (Shimizu et al., 2004)。図は福江島における 2003 年 5 月の 1 ヶ月間の日々の時系列であるが、5 月 20 日から 24 日にかけて大きなカラー比を示す濃いエアロゾル層が福江島の低層大気に現れていることがわかる。

これは、この時期、ロシア域で起こった森林火災によって発生したエアロゾルをとらえたものである。この例のように炭素性エアロゾルは化石燃料の消費と同時に植生燃焼に起源するものの寄与も大きい。また、図はこのような特異な現象以外にも大気の光学特性が日々大きく変動していることを示している。

人工衛星によるエアロゾルと雲のリモートセンシングについても APEX では成果を得ている。図 4.3 はエアロゾルの種別分類のための 4 チャンネル・アルゴリズムを MODIS データに適用した例である。このアルゴリズムでは、近紫外から近赤外域の 4 チャンネルを使うことによって得られるオングストローム指数と近紫外もしくは青色域の光吸収能の違いを利用してエアロゾルを硫酸塩、炭素性、土壌起源、海塩起源に分類することができる (Higurashi and Nakajima, 2002)。図によると東アジアでは 3 月に土壌起源エアロゾルが卓越していることがわかる。また、5 月には炭素性エアロゾルの寄与が極めて大きいことがわかる。これは図 4.2 においてライダーで捉えたロシア域の森林火災によるものであるが、図はこの火災起源のエアロゾル層が広く東アジア域を覆っていることを示している。その寄与は 5 月の月平均の光学的厚さにも大きく寄与している。APEX ではこのような解析を多数行っており、毎日 APEX Virtual Web Site で衛星の解析結果が見られる。それらによると、例えば 2001 年の同時期にはこのような卓越した現象が起らなかったが、総じて 3 月から 5 月期にかけて炭素性エアロゾルの光学的厚さは土壌起源のそれに匹敵することがわかる。森林火災のような突発的な現象が起らなかった 2001 年の炭素性エアロゾルの分布は 2003 年の時に比べてずっと空間的に滑らかな分布である。

SKYNET ではネフロメーターと光吸収計による地表面付近のエアロゾルの消散係数と吸収係数のモニタリングも行っている。このような測定によって得られた奄美大島におけるエアロゾルの一次散乱アルベドと、同時にフィルターサンプリングによって得られた化学組成を図 4.4 に示す (Fujitani et al., 2002; Nakajima et al., 2003)。同時にスカイラジオメーターによる太陽直達光と天空光輝度分布の解析から得られた気柱エアロゾルの一次散乱アルベドも示す。図によると、モデルと衛星観測で推測したように、硫酸塩、炭素性、土壌起源、海塩起源のエアロゾルが複雑に混合していることがわかる。黒色炭素の寄与も大きい。着目すべきは 4 月 11 日から 16 日の黄砂現象期間中には黒色炭素の濃度も増加していることである。これは、大陸内陸部から発生した黄砂性エアロゾルが輸送中にその途中の人間活動域で大気汚染エアロゾルを伴う結果である。これは土壌性エアロゾルが発生するアフリカサヘル地域や中近東地域に比べると特異な現象である。さて、エアロゾルの一次散乱アルベドを見てみると期間中 0.8 から 0.9 という低い値を取っている。ネフロメーターと光吸収計は機器の温度によるサンプリング気塊の温度上昇に伴う相対湿度の低下現象が見られるために、正確にはその補正が必要であるが、そのような影響を受けないスカイラジオメーターから得られる気柱平均の一次散乱アルベドも同様な値を示しているので、ここに得られた一次散乱アルベドの時系列は信頼に足るものと思われる。従って、奄美大島のような大陸から遠い観測サイトでも一次散乱アルベドは都市域と似たような低い値を取ることが示される。これは清澄な大気を持つ日本の地域では大陸起源のエアロゾルの寄与が 50 % を越えることと一致する (Takemura et al., 2001)。このような清澄な場所ではかえって大陸起源の多く黒色炭素を含んだエアロゾルの寄与が相対的に大きくなるので一次散乱アルベドも顕著には大きくならない。これは汚染物質が硫酸塩エアロゾルによって占められている北アメリカ大陸などと大きく違う

ところである。また、図は黄砂期間中には逆に一次散乱アルベドが 0.8 近くに減少していることを示している。これは Kauman et al. (2001)による土壌起源エアロゾルが 0.95 から 0.98 と高い一次散乱アルベドを示すと言う指摘と矛盾する。Kim et al. (2003)が指摘するように、東アジア域では図 4.4 が示すように汚染物質に含まれる黒色炭素が一次散乱アルベドを下げる効果をはたしている。しかし、土壌起源と大気汚染物質の単純な外部混合や内部混合では、ここに示された黒色炭素量によって一次散乱アルベドを正常時よりも小さくすることが難しいことも指摘されており、土壌粒子によるガス状物質の選択的な吸着などのメカニズムが同時に働いている可能性も考えられる (Clarke et al., 2004)。

このようなエアロゾルがどのような放射強制を作り出しているかを図 4.5 に見る。図は 2001 年の 3, 4 月期を黄砂現象時とそれ以外の正常時にわけて、スカイラジオメーターと日射計の観測値の両方を満足するように決められた太陽放射に対する 24 時間晴天大気下端でのエアロゾル放射強制力を示す (Kim et al., 2004)。このような分類によると、正常時と黄砂時の状態におけるエアロゾルの一次散乱アルベド (SSA)、非対称因子 (g)、放射強制力の効率因子 (β) はそれぞれ、 $(SSA, g, \beta) = (0.92, 0.69, 60\sim90)$ 、 $(0.84, 0.70, 90\sim100)$ であった。ここで β は次のように定義する。

$$\beta = -ARF(24hr, clear, SW)/\tau_{500} \quad (4.1)$$

上式で $ARF(24hr, clear, SW)$ は太陽放射に対するエアロゾルの晴天下における 24 時間平均放射強制力、 τ_{500} はエアロゾルの波長 500nm における光学的厚さである。すなわち、正常時に比べると非対称因子は同じ程度であるが、一次散乱アルベドは黄砂時の方が小さいことがわかる。これはすでに図 4.4 で見てきたことと一致する。黄砂時の方が気柱平均の粒子半径は大きいはずであるが非球形の黄砂粒子では側散乱が増えるために非対称因子は、より小粒子を含む正常時と同じような値になると思われる。このような状態では、一次散乱アルベドが低下すると太陽放射はエアロゾルにより強く吸収されて、地表面に到達する日射量は正常時よりも同じ光学的厚さの場合でも 2 割程度小さくなる。実際には黄砂時の方が光学的厚さも増加するので、平均的には 3 割程度小さくなる。すなわち地表面放射強制力は、平常時 -69 W/m^2 であったものが、黄砂時には -104 W/m^2 にもなる。もしこのような土壌起源がフレッシュであって大気汚染を伴わないものであれば、Kauman et al. (2001)が指摘するように $SSA=0.95\sim0.98$ 、 $\beta=65$ 程度であるから、地表面の放射強制力は -71 W/m^2 と正常時と同じ程度にしかない。このように土壌性起源エアロゾルと大気汚染物質の混合は地表面の放射エネルギー収支に大きな変化を与えることが示される。

Nakajima et al. (2003)ではこのような地表面での放射強制力を下記のような規格化された放射強制力と光学的厚さで表現した。

$$ARF(24hr, clear, SW) R^2/SD = -0.4 u \quad (4.2)$$

$$u = (1 - \omega_{500} f_{500}) \tau_{500}, \quad f_{500} = (1 + g_{500})/2 \quad (4.3)$$

ここで R は地球-太陽間距離、 SD は日照時間、 ω_{500} は波長 500nm での一次散乱アルベド、 f_{500} は前方散乱係数、 g_{500} は非対称因子である。この式によって奄美と Gosai サイトでの放射強制力のばらつきの 68% が説明される。奄美大島と Gosan サイトでの τ_{500} 、 ω_{500} 、 g_{500} の日変

化と見積もり誤差を考慮すると、放射強制力の変化への各パラメーターの寄与率は τ_{500} が50%、 ω_{500} が12%、 g_{500} が6%であった。このように放射強制力の大きさは様々な因子に依存しているが、その中で重要な因子は光学的な厚さ、一次散乱アルベド、非対称因子であることがわかる。

示してきたような太陽放射に関する放射強制力は、領域によって異なることが考えられる。図4.6にAPEX研究で得られた奄美大島、Gosanでの放射強制力(Nakajima et al., 2003)を2000年1月から4月期にインド洋モルジブサイトで得られたINDOEX (Ramanathan et al., 2001a)における値と比較する。ただし本研究の値は自然起源を含む全エアロゾルに関するものである一方、INDOEXの値は人為起源エアロゾルに関するものであることに注意しなければならない。この違いを補正するために大気上端での海塩起源エアロゾルの直接効果分 -0.31W/m^2 (Takemura et al., 2002)を加えるとINDOEXの値は -1.31W/m^2 となって奄美大島の値に匹敵する。これらの値は、Gosanに比べると若干小さい。Gosanの大気上端での直接効果の値が -3 W/m^2 に達するのはエアロゾルの光学的厚さが大陸の発生源により近く大きく、かつ雲量も少ないからである。一方、間接効果（準直接効果を含む）はGosan、奄美大島、INDOEXの順に大きくなっている。Gosanと奄美大島での差は雲量と雲水量が南のサイトである奄美大島で大きいためである。従って、さらに南にあるINDOEXの値が奄美大島よりも大きいことはつじつまが合う。これは奄美大島よりも南にあるINDOEX領域の間接効果としては妥当であると考えられる。

ここで示したような間接効果は直接効果よりも計算が困難であり、評価の不確実性が大きい。まずエアロゾルの分布や特性を知った上で、さらに2つのプロセスをモデル化する必要がある。すなわち、与えられたエアロゾル数 Na からどれだけの雲粒数 Nc が作り出されるかと言う雲粒形成過程と、作り出された雲水が降水として雲層から取り出される降水形成過程をモデル化しなければならない。2002年以前のSPRINTARSにおける雲粒形成過程のパラメタリゼーションは、次のような一意的な関係を与える簡単なものであった。

$$Nc = \varepsilon Na Nm / (\varepsilon Na + Nm) \quad (4.4)$$

ここで ε と Nm は、航空機等による Na と Nc の観測データを上式で近似するためのパラメーターで $\varepsilon = 1$ 、 $Nm = 400\text{cm}^{-3}$ とした。また Na の最小値は海陸を問わず 30 cm^{-3} とした(Numaguti, 1999)。図4.7にはこのような雲粒子形成過程のパラメタリゼーションを利用して再現された1990年の1, 4, 7, 10月の平均的な低層雲の有効雲粒子半径の全球分布をSimple Schemeとして示す。同時にAVHRRから得られた有効粒子半径の衛星観測値(Kawamoto et al., 2001)も示す。図によると大陸のエアロゾルの多い領域で有効粒子半径が減少する傾向がモデルによって再現されている。しかし、詳細にモデルと観測値の分布を調べてみると異なるところも多い。特に、大陸域における粒径はモデルでは7ミクロンから9ミクロンであるのに対し、衛星観測では9ミクロンから11ミクロンであり過小評価値である。Takemura et al. (2004)ではこの点を改善するために次のようなパラメタリゼーションをケーラー理論に関する研究 (Ghan et al., 1997; Abdul-Razzak et al., 1998; Abdul-Razzak and Ghan, 2000) を参考にして導入した。

$$N_c = N_a \left[1 + \left\{ f_1(\sigma_a) \left(\frac{AN_a\beta}{3\alpha\omega} \right)^2 + f_2(\sigma_a) \frac{2A^3N_a\beta\sqrt{G}}{27Br_m^3(\alpha\omega)^{3/2}} \right\}^{b(\sigma_a)} \right]^{-1} \quad (4.5)$$

ここで ω は雲域の代表的な上昇速度、 r_m と σ_a はエアロゾルの粒径分布のモード半径と標準偏差、 A と B は曲率効果と溶質効果の係数、 α と β は過飽和度、温度、圧力の関数、 G は水蒸気の拡散率、過飽和度、温度の関数、 f_1 、 f_2 、 b は σ_a に依存する関数である。 Na の最小値は海域では 30 cm^{-3} 、陸域では 300 cm^{-3} とする。また雲域の上昇速度は100km程度の格子スケールを持つ大循環モデルでは計算されないの、下記のように乱流運動エネルギー (TKE) から半経験的に作り出す。

$$\omega = \bar{\omega} + c\sqrt{TKE} \quad (4.6)$$

図4.7にはこのようなパラメタリゼーションによってシミュレーションされた低層雲の有効粒子半径の分布図をNew Schemeとして示す。図によると大陸域と高緯度での再現度がSimple Schemeに比べて良くなっていることがわかる。これは、海陸での自然起源のエアロゾル数の違いを反映して Na の最小値を海陸それぞれ別に設定したことと、 Nc が Na のみでなく上昇流の大きさにも依存するようになって、上昇流が小さい所での雲核生成が抑制される仕組みが加わったために、結果が改善したと考えられる。このような新旧2つのパラメタリゼーションによっても得られる人為起源エアロゾルが作り出す大気上端全球平均の間接効果の大きさは、Simple Schemeで -2.4 W/m^2 、New Schemeで -0.8 W/m^2 となった。また産業革命以前の全球エアロゾル総数に対する人為起源エアロゾル数の増加率

$$v = Na_{\text{present}} / Na_{\text{pre}} - 1 \quad (4.7)$$

はそれぞれ1.3と0.3になった。すなわち、Simple Schemeでは陸上でも自然起源エアロゾル数の最小値を 30 cm^{-3} としたために増加率が大きくなり、従って、産業革命前と現在との相対差で決まる間接効果の値も大きくなったと考えられる。一方、陸上ではもともと 300 cm^{-3} 程度の自然起源エアロゾルがあったとするNew Schemeでは増加率は30%にとどまり、従って放射強制力も -0.94 W/m^2 程度に縮小している。このような人為起源エアロゾルの増加率は直接観測することができないためにどちらのモデルが妥当であるかについて疑問が残るが、植生起源の有機炭素性エアロゾルの数などの報告例を勘案するとNew Schemeの方がより妥当であると考えられる。

図4.8には間接効果の計算の際に最も重要になるエアロゾル粒子数密度と雲粒子数密度の関係をまとめる。ここでSimple SchemeとしたNumaguti (1999) のパラメタリゼーションは航空機観測値と比べても高めの Nc を作り出すパラメタリゼーションであったことがわかる。一方、New Schemeでは Nc は Na だけでなく、各計算グリッドにおける大気状態に依存するので図に斜線を引いたように散布するようになるが、その範囲は観測値とも妥当な関係にあるように見える。従って、New Schemeの小さな間接効果は雲粒子数の観測からも支持される。

一方、Suzuki et al. (2004)は降水形成過程のパラメタリゼーションの違いによる雲場への影響を調べた。 W を雲水密度としたときに降水過程

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -\frac{W}{\tau_p} \quad (4.8)$$

における降水時定数のパラメタリゼーションには Sundqvist (1978)、Berry (1967)、Khairoutdinov and Kogan (2000)によるものがある。

$$\tau_p = \frac{\tau_0}{1 - \exp[-(w/w_c)^2]} \quad (4.9a)$$

$$\tau_p = \frac{\beta + \gamma n_c / \rho w}{\alpha \rho w} \quad (4.9b)$$

$$\tau_p = c \frac{n_c^\alpha}{w^\beta}, \quad \alpha = 1.79, \quad \beta = 1.47 \quad (4.9c)$$

Suzuki et al. (2004)によると、降水時定数 τ_p が N_c に非線形に依存する Khairoutdinov and Kogan 型のパラメタリゼーションの方が図4.7で示した Simple モデル（これは N_a に線形に依存する Berry 型を仮定している）に見られる衛星観測値の違い（特に太平洋東部の違い）を改善できる。この点をもう少し定量化するために、雲光学的厚さ、雲粒子有効半径、雲水総数、雲粒子数などの雲物理量をエアロゾル数密度に関する対数線形関数で近似する。

$$\log_{10}(q) = a_q + b_q \log_{10}(N_a) \quad (4.8)$$

事実、このような近似は Nakajima et al. (2001) や Sekiguchi et al. (2004) などの衛星観測データの解析でも良い精度で成り立つことが示されている。表 1 に示すように Nakajima et al. (2001) の衛星観測結果を見ると、 N_a の増加に対して雲粒数が増加するために有効粒子半径 (r_e) は減少しており b_r は負の値になる。また、それに伴い雲光学的厚さ (τ_c) は Twomey 効果によって増加するので b_τ は正になる。表 1 による b_r と b_τ の値はそれぞれ -0.32 と +0.55 である。さらに雲水量は次のように表されるので

$$W = 2 \tau_c r_e / 3 \quad (4.9)$$

$$\Delta W / W = \Delta r_e / r_e + \Delta \tau_c / \tau_c = (b_r + b_\tau) \Delta N_a / N_a \quad (4.10)$$

であるから $b_w = b_r + b_\tau$ の関係がある。従って表によると、雲水量の N_a 依存性 b_w は有効粒径と光学的圧さの増減がお互いに相殺して小さくなることがわかる。一方、降水時定数が雲粒数に依存しない Sundqvist 型のパラメタリゼーションを使ったモデル結果では、光学的厚さの N_a 依存性がほとんど無くなり b_w は大きな負の値になる。すなわち、 N_a の増加とともに雲水は顕著に減る。これは雲の少ない高圧下ではエアロゾル数が増える傾向があることと直感的に矛盾しない。一方、Berry 型や Khairoutdinov 型では N_c が増加すると τ_p が大きくなって雲の寿命が延びるために、Sundqvist の場合に見られた負の傾向が

相殺されて、雲水量は Na にあまり依存しなくなる。すなわち高圧下では雲の寿命が延びるためにそれほど雲量は減らない。これは AVHRR で得られた傾向と似ており、実際にそのようなエアロゾルによる雲の寿命効果が全球規模で起こっていることを示唆している。 b_w の値は Berry 型よりも Khairoutdinov 型の方が AVHRR による値に近い。

GCM によるシミュレーション結果を衛星観測値と比較するこのような研究は、確かにどのパラメタリゼーションが妥当かについての示唆を与えることができるが、物理的なメカニズムを定量的に議論することができない。そこで APEX 研究では雲粒径を差別化して雲粒子の形成過程を詳細にシミュレーションするビン型雲粒成長モデルを非静力の力学モデルに組み合わせたメソスケール非静力ビン型雲モデルを開発した(井口、2003; 鈴木、2004)。それによって浅い対流雲を再現したところ、 b_r と b_i は表 4.1 のようになり、正負が相殺する傾向を詳細な雲モデルによっても再現することができた。すなわち、このようなモデルによってパラメタリゼーションによることなく粒子成長を詳細に再現してみても、エアロゾルが増えるに従って、寿命効果が働いて雲水量が Na にあまり依存しなくなることが再現される。このようなビン型モデルでは雲粒数の Na 依存性も計算することができて、 b_N は 0.8 と大きな値になる。一方、AVHRR による観測値は $b_N = 0.5$ である。モデルと観測値のこれらの違いは、AVHRR によって観測された全球の雲システムには、この数値実験の場合よりも Na の影響が小さな雲システムも多く存在することを示唆している。

モデルにおけるエアロゾルと雲場の形成の妥当性を検証するために、アクティブセンサーのデータも使用された。図 4.9 には観測船みらいに搭載した 94GHz の測雲レーダーとライダー信号の時間-高度断面図を示す。このような広域における雲レーダーとライダーの船舶データは世界的にみてもこれだけである。ライダー信号は雲スクリーニングをした結果であり、示されている主な信号はエアロゾル及び、スクリーニングで取りきれない薄い雲によるものである。これらのデータからはエアロゾルと雲の消散係数、有効粒子半径の鉛直分布を得ることができるが (Okamoto et al., 2003)、ここでは逆に、SPRINTARS モデルによって計算されたエアロゾルと雲場を利用して再現された雲レーダーとライダーの信号を観測された信号と比較してみた。図は大循環モデルによって計算された信号が観測値に見られるエアロゾルによる大気混濁度の変動をよく再現していることを示している。しかし、詳細に見ると異なる部分も多い。最も目につくのは中上層の薄いエアロゾルからの信号をうまく再現していない点である。モデルではこの部分にはエアロゾルがほとんど存在しない。一方、雲レーダーの信号の再現によると、モデル内では高度 6km よりも下層で雲量が過小評価、それより上で過大評価をしていることがわかる。また、モデルでは雲が存在している部分ではほとんどエアロゾルが除去されてしまっているのに対して、観測ではそのような部分でもエアロゾルが上空に存在していることがわかる。これは、モデルの分解能が足りずに格子サイズ以下の雲が離散的に存在する状況でエアロゾルが上空に運ばれる現象をうまく再現していないために起こっていると考えられる。雲の形成メカニズムは複雑で、単純に雲核が少ない場合には雲粒が成長しやくすなり降雨が促進されて雲量が減ると言った単純なものでは無いので、モデルと観測が示すエアロゾルと雲場の違いを理解するにはもう少し研究が必要であるが、違いがあることは突き止められた。このように CCSR/NIES モデルに上層雲が生成されやすい傾向があるすると、モデルが他のモデルに比べて高い気候感度を示すことも理解できる。

（２）結論と今後期待される効果

以上のように見てきたようにAPEX研究では、観測とモデリングの研究によりエアロゾルと雲の分布と特性、それが作り出す放射強制力の大きさの特徴と妥当性を検討してきた。そのまとめとして図4. 10に産業革命以降に人為起源エアロゾルが作る放射強制力の全球平均値をまとめる。まず、大気上端での直接効果の大きさはIPCC第3次報告書に比べて半分以下であろうと推測できる。前節で示したSPRINTARSのNew Schemeでは -0.06 W/m^2 と言う非常に小さな値が得られた。New Schemeによる晴天大気中の放射強制力は -0.77 W/m^2 であるから、雲が存在する場合にエアロゾルが引き起こす正の直接放射強制力が晴天域の負の放射強制をほとんど相殺していることがわかる。Kaufman et al. (2003)によるMODISから得られた晴天大気中の放射強制力は -0.43 W/m^2 であるから、このMODISの解析結果も直接効果の放射強制力が非常に0に近いことを支持している。一方、地表面では海面で -1.0 W/m^2 、陸域で -2.3 W/m^2 と言う大きな放射強制がモデルによって計算されている。東アジアのような混濁度の高いところではその10倍もの強制力がかかっている。

間接効果については、SPRINTARSのSimple Schemeによると大気上端で -2.4 W/m^2 もの大きな値が計算されているが前節で議論したようにNew Schemeによる -1 W/m^2 程度の方が妥当であると考えられる。ここには示さないが大気下端では放射強制力の値は似たような大きさになる。New Schemeの場合、エアロゾルの増加率は $\nu = 0.3$ であった。この値を仮定して衛星データの解析を行うとAVHRRからは -1.3 W/m^2 程度の値が得られる(Nakajima et al., 2001)。Sekiguchi et al. (2003)によるより詳細な解析によると、 r_e と τ_c による強制力はNakajima et al. よりも小さくなったものの、 N_a に伴って雲量(n)が増加する効果の強制力によって全体としては -1.4 W/m^2 と似たような値になった。一方、Sekiguchi et al. (2003)はPOLDERセンサーのデータを使うと非常に小さな間接効果の放射強制力が得られることも示している。これについては、POLDERセンサーから求められた雲パラメーターは、放射強制力の計算に使うには不適切であるとするのが妥当であると考えられる。すなわちPOLDERが求める雲の有効粒子半径は雲層の極めて薄い上層から1次散乱光に含まれている情報を使って求めているために、雲層全体の代表的な値にはなっていないと思われる。また、瞬時視野も8 kmと大きいために解析に誤差が発生しやすい。結論として大気上端での間接効果の値はモデルからはNew Schemeの結果、衛星観測についてはAVHRRの解析結果を採用して、 -1 W/m^2 から -1.4 W/m^2 程度であると結論される。

図4. 11には最終的に得られた人為起源エアロゾルによって起こる降雨量の変化を示す。図によると南半球、特にSPCZ領域で降雨は1 mm/dayも増加する。一方、北半球、特に赤道の収束帯で -1 mm/day 減少する。図は大気汚染の増加が激しい北半球の領域では発生域と降雨減少域は必ずしも一致していないことを示している。例えば、アジア域では大陸の南側縁辺にそって降雨の減少域が見られる。これらの結果は、降雨量の変化が単純にその場所の大気上下端の放射エネルギー収束のみでは決まらずに、その結果生じる温度変化と2次的な大気循環によって広域にわたって起こっていることを示している。従って、降雨量の変化の評価は難しく、今後もっと研究を積みあげる必要があると思われる。特にビン型の雲モデルを用いた研究が今後必要になってくるだろう。

APEX研究ではここでまとめたもの以外にもストーリーとしてまとめきれない沢山の成果があるので、以降の章を参照してもらいたい。そこで示されるように、これらの多

くの研究成果は地上観測、衛星観測、モデリング研究において役立つ実戦的なもので、今後の研究の発展に役立つと思われる。特にUNEPが推進しているAtmospheric Brown CloudプロジェクトではAPEXの研究資産が有効に活かされている。さらにSKYNETシステムは観測システムと言うだけでなく、コミュニティによる研究推進のモデルを提供するものであり、今後大きく発展するだろう。

以上の結果は、2005年3月までに気象学会の気象研究ノートにまとめるべく執筆準備中である。

参考文献

- Abdul-Razzak, H., S. J. Ghan, and C. Rivera-Carpio, A parameterization of aerosol activation 1. Single aerosol type, *J. Geophys. Res.*, **103**, 6123–6131, 1998.
- Abdul-Razzak, H., and S. J. Ghan, A parameterization of aerosol activation 2. Multiple aerosol type, *J. Geophys. Res.*, **105**, 6837–6844, 2000.
- Berry, E. X., 1967: Cloud droplet growth by collection. *J. Atmos. Sci.*, **24**, 688-701.
- Clarke, A. D., Y. Shinozuka, V. N. Kapustin, S. Howell, B. Huebert, S. Doherty, T. Anderson, D. Covert, J. Anderson, X. Hua, K. G. Moore II, C. McNaughton, G. Carmichael, and R. Weber, 2004: Size distributions and mixtures of dust and black carbon aerosol in Asian outflow: Physiochemistry and optical properties, *J. Geophys. Res.*, **109**, D15S09, doi:10.1029/2003JD004378.
- Fujitani, Y., Ohta, S., Endoh, T., Murao, N. and Yamagata, S., 2002: Measurement of optical and chemical properties of atmospheric aerosols over the western Pacific ocean, *J. Global Environ. Eng.*, **8**, 17-33.
- Ghan, S. J., L. R. Leung, R. C. Easter, and A. Abdul-Razzak, 1997: Prediction of cloud droplet number in a general circulation model, *J. Geophys. Res.*, **102**, 21,777–21,794.
- Higurashi, A., and T. Nakajima, 2002: Detection of aerosol types over the East China Sea near Japan from four-channel satellite data. *Geophys. Res. Lett.*, **29**(17), 1836, doi:10.1029/2002GL015357.
- 井口 享道、2003：雲核影響を取り入れた雲解像領域モデルによる雲物理特性の再現に関する研究、東京大学理学系研究科、地球惑星科学専攻修士論文、2003年3月。
- IPCC95, Climate Change 1996, The science of climate change, Eds. J. T. Houghton et al., Cambridge Univ. Press.
- IPCC, 2001: Climate Change 2001-The Scientific Basis J. T. Houghton, Ed., Cambridge Univ. Press.
- Kaufman, Y.J., D. Tanre, O. Dubovik, A. Karnieli, and L.A. Remer, 2001: Absorption of sunlight by dust as inferred from satellite and ground-based remote sensing, *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 1479-1482.
- Kaufman, Y.J., A., 2003: The global aerosol system and its direct forcing of climate results from MODIS, AERONET and GOCART. *IUGG General Assembly, Sapporo*, June 30-July 4.
- Kawamoto, K., T. Nakajima, and T.Y. Nakajima, 2001: A global determination of cloud microphysics with AVHRR remote sensing. *J. Climate*, **14**, 2054-2068.
- Khairoutdinov, M., and Y. Kogan, 2000: A new cloud physics parameterization in a large-eddy simulation model of marine stratocumulus. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 229–243.

- Kim, D.-H., B.-J. Sohn, T. Nakajima, and T. Takamura, 2004: Aerosol radiative forcing over East Asia determined from ground-based solar radiation measurements. *J. Geophys. Res.*, in press.
- Nakajima, T., and A. Higurashi, 1998: A use of two-channel radiances for an aerosol characterization from space. *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 3815-3818.
- Nakajima, T., A. Higurashi, K. Kawamoto and J. E. Penner, 2001: A possible correlation between satellite-derived cloud and aerosol microphysical parameters. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 1171-1174.
- Nakajima, T., M. Sekiguchi, T. Takemura, I. Uno, A. Higurashi, D.H. Kim, B.J. Sohn, S.N. Oh, T.Y. Nakajima, S. Ohta, I. Okada, T. Takamura, and K. Kawamoto, 2003: Significance of direct and indirect radiative forcings of aerosols in the East China Sea region. *J. Geophys. Res.*, **108**(D23), 8658, doi: 10.1029/2002JD003261.
- Nozawa, T., S. Emori, A. Numaguti, Y. Tsushima, T. Takemura, T. Nakajima, A. Abe-Ouchi, and M., Kimoto, 2001: Projections of future climate change in the 21st century simulated by the CCSR/NIES CGCM under the IPCC SRES scenarios, In 'Present and Future of Modeling Global Environmental Change-Toward Integrated Modeling', Matsuno, T. and H. Kida eds., *Terra Scientific Publishing Company*, Tokyo, pp.15-28.
- Numaguti, A., M. Takahashi, and A. Sumi, 1995: Development of an atmospheric general circulation model. *Climate System Dynamics and Modeling*, T. Matsuno, Ed., Center for Climate System Research, University of Tokyo, 1-27.
- Numaguti, A., 1999: *Personal communication in the discussion on the aerosol-cloud parameterization of CCSR/NIES AGCM.*
- Okamoto, H., S. Iwasaki, M. Yasui, H. Horie, H. Kuroiwa, and H. Kumagai, 2003: An algorithm for retrieval of cloud microphysics using 95GHz cloud radar and lidar., *J. Geophys. Res.*, **108**, D7, 4226, doi:10.1029/2001JD001225.
- Ramanathan, V., P.J. Crutzen, J. Lelieveld, A.P. Mitra, D. Althausen, J. Andersen, M.O. Andreae, W. Cantrell, G.R. Cass, C.E. Chung, A.D. Clarke, J.A. Coalkey, W.D. Collins, W.C. Conant, F. Dulac, J. Heinzenberg, A.J. Heymsfield, B. Holben, S. Howell, J. Hudson, A. Jayaraman, J.T. Kiehl, T.N. Krishnamurti, D. Lubin, G. McFarquhar, T. Novakov, J.A. Ogren, I.A. Podgorny, K. Prather, K. Priestley, J.M. Prospero, P.K. Quinn, K. Rajeev, P. Rasch, S. Rupert, R. Sadourny, S.K. Satheesh, G.E. Shaw, P. Sheridan, and F.P.J. Valero, 2001a: Indian Ocean Experiment: An integrated analysis of the climate forcing and effects of the great Indo-Asian haze, *J. Geophys. Res.*, **106**, 28371-28398.
- Ramanathan, V., P.J. Crutzen, J.T. Kiehl, and D. Rosenfeld, 2001b: Aerosols, Climate, and the Hydrological Cycle. *Science*, **294**, 2119-2124.
- Sekiguchi, M., T. Nakajima, K. Suzuki, K. Kawamoto, A. Higurashi, D. Rosenfeld, I. Sano, and S. Mukai, 2003: A study of the direct and indirect effects of aerosols using global satellite datasets of aerosol and cloud parameters. *J. Geophys. Res.*, **108**(D22), 4699, doi: 10.1029/2002JD003359.
- Shimizu, A., A., N. Sugimoto, I. Matsui, K. Arao, I. Uno, T. Murayama, N. Kagawa, K. Aoki, A. Uchiyama, and A. Yamazaki, 2004: Continuous observations of Asian dust and other aerosols by polarization lidar in China and Japan during ACE-Asia, *J. Geophys. Res.*, **108**(D19), D19S17, doi:10.1029/2002JD003253.

- Sundqvist, H., 1978: A parameterization scheme for non-convective condensation including prediction of cloud water content. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **104**, 677–690.
- 鈴木健太郎、2004：粒子成長に関わる雲微物理過程の数値モデリングに関する研究、東京大学理学系研究科、地球惑星科学専攻修士論文、2004年9月。
- Suzuki, K., T. Nakajima, A. Numaguti, T. Takemura, K. Kawamoto, and A. Higurashi, 2004: A study of the aerosol effect on a cloud field with simultaneous use of GCM modeling and satellite observation. *J. Atmos. Sci.*, **61**, 179-194.
- Takemura, T., H. Okamoto, Y. Maruyama, A. Numaguti, A. Higurashi, and T. Nakajima, 2000: Global three-dimensional simulation of aerosol optical thickness distribution of various origins. *J. Geophys. Res.*, **105**, 17853-17873.
- Takemura, T., T. Nakajima, T. Nozawa, and K. Aoki, 2001: Simulation of Future Aerosol Distribution, Radiative Forcing, and Long-range Transport in East Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**, 1139-1155.
- Takemura, T., T. Nakajima, O. Dubovik, B. N. Holben, and S. Kinne, 2002: Single scattering albedo and radiative forcing of various aerosol species with a global three-dimensional model. *J. Climate*, **15**, 333-352.
- Takemura, T., T. Nozawa, and N. Kuba, 2003: Parameterization of aerosol-cloud interaction with SPRINTARS. *Proc. Meteor. Soc. Japan Meeting*, Oct. 15-17, Sendai (in Japanese).
- Takemura, T., T. Nozawa, S. Emori, T.Y. Nakajima, and T. Nakajima, 2004: Simulation of climate response to aerosol direct and indirect effects with aerosol transport-radiation model. *J. Geophys. Res.*, in press.
- Uno, I., G.R. Carmichael, D.G. Streets, Y. Tang, J.J. Yienger, S. Satake, Z. Wang, Jung-Hun Woo, S. Guttikunda, M. Uematsu, K. Matsumoto, H. Tanimoto, K. Yoshioka and T. Iida, 2003a: Regional Chemical Weather Forecasting System CFORS: Model Descriptions and Analysis of Surface Observations at Japanese Island Stations During the ACE-Asia Experiment, *J. Geophys. Res.*, **108**(D23), 8668, doi:10.1029/2002JD002845.
- Uno, I., Gregory R. Carmichael, David Streets, Shinsuke Satake, Toshihiko Takemura, Jung-Hun Woo, Mitsuo Uematsu and Sachio Ohta, 2003b: Analysis of Surface Black Carbon Distributions during ACE Asia using a Regional Scale Aerosol Model, *J. Geophys. Res.*, **108**(D23), 8636, doi:10.1029/2002JD003252.

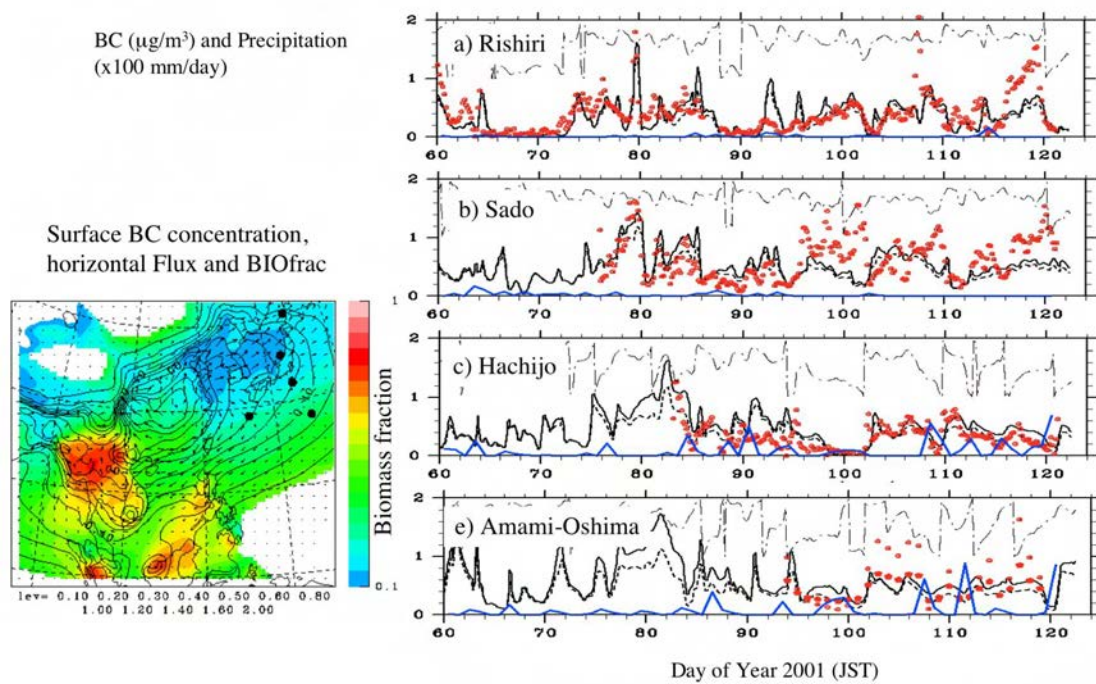


図4.1. CFORSでシミュレーションされた地表面における黒色炭素濃度の分布図(左図)。利尻、佐渡、八丈島、奄美大島における黒色炭素の2001年2月から4月までの時系列と観測データとの比較(右図)。利尻、佐渡、八丈島の観測データはJST/VMAP(PI: 植松光夫博士)による。(Uno et al., 2003)

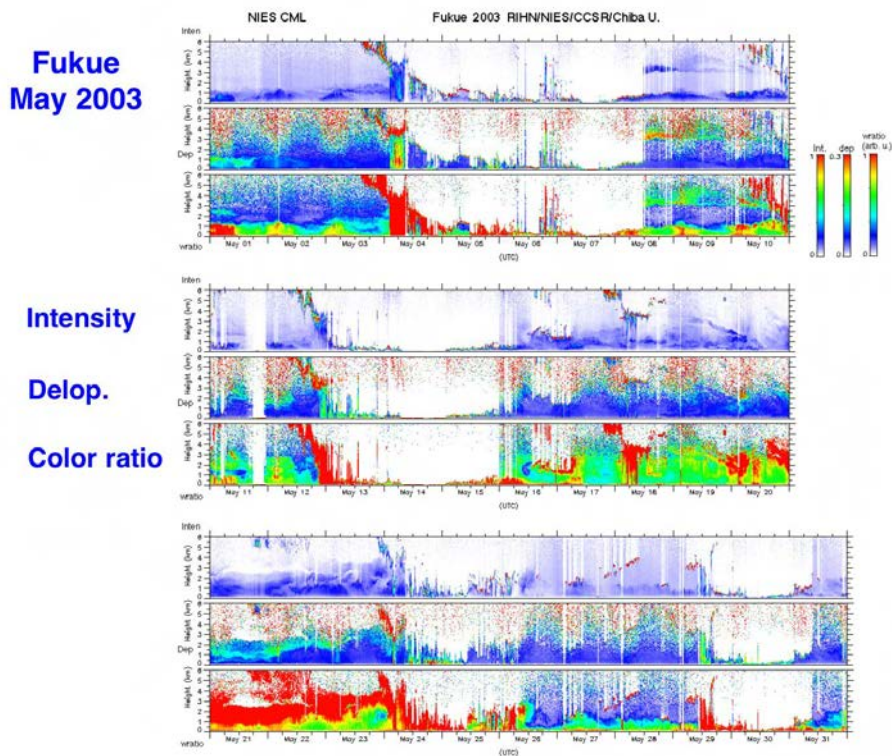


図 4.2. 福江島に設置されたライダーによる 2003 年 5 月の日々の後方散乱強度（各セクションの上段）、偏光解消度（中段）、532nm と 1064nm の散乱強度比（カラー比、下段）。

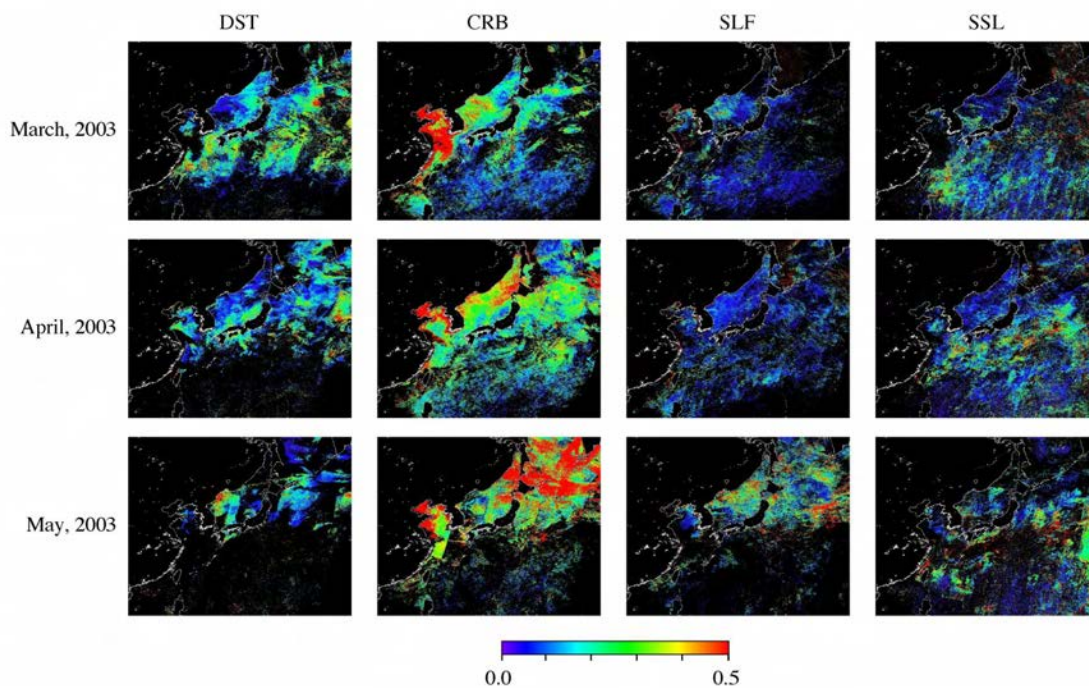


図 4.3. MODIS の青色から近赤外の 4 つのチャンネルを利用したエアロゾル種のリモートセンシング。東アジア域における土壌起源（DST）、炭素性（CRB）、硫酸塩（SLF）、海塩起源（SSL）の光学的厚さ。2003 年 3, 4, 5 月の月平均値。

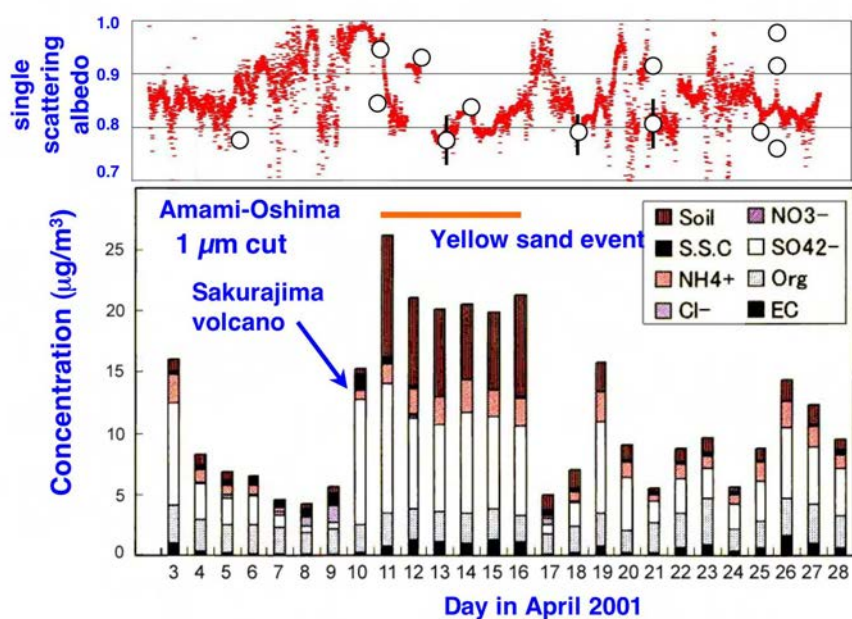


図4.4. フィルターサンプリング（直径1ミクロンカット）によって得られたエアロゾルの化学組成（下段図）とネフロメーター／光吸収計で得られたエアロゾルの一次散乱アルベド（●）。スカイラジオメーターから得られた気柱平均のエアロゾルの一次散乱アルベドも示す（○）。2001年4月のSKYNET奄美大島サイトの結果。（Nakajima et al., 2003）

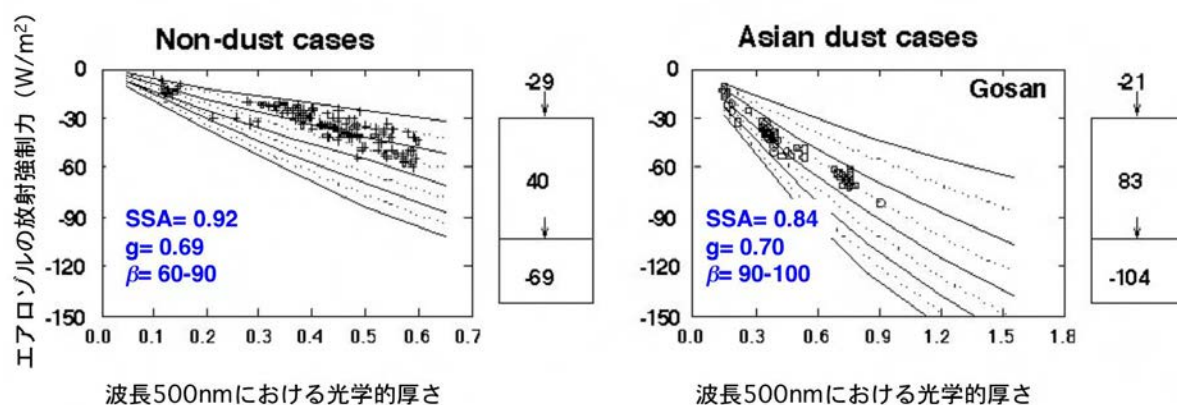


図4.5. Gosanサイトにおけるエアロゾルの放射強制力と光学的厚さの関係。正常時（左図）と黄砂現象時（右図）の場合。それぞれの場合について大気上端、大気中、大気下端における放射エネルギー収支も同時に示す。（Kim et al., 2004）

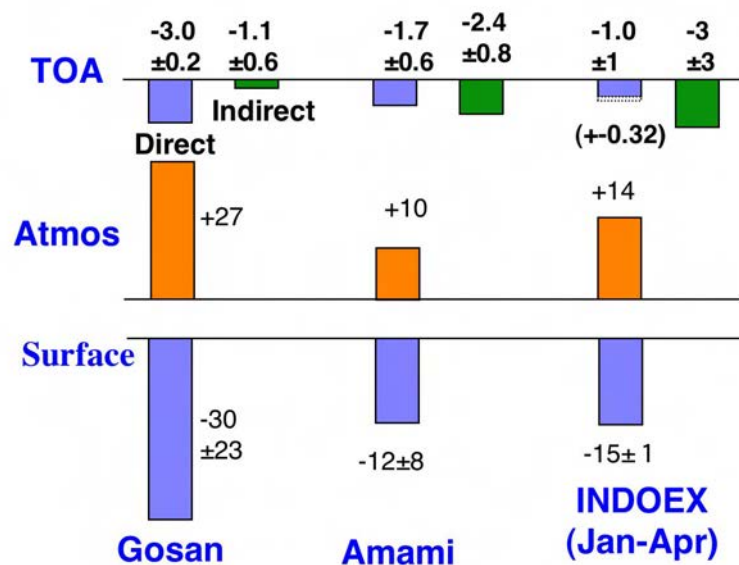


図4.6. 奄美大島、Gosan、INDOEXにおけるエアロゾルの放射強制力の比較。ただし本研究の値は自然起源を含む全エアロゾルに関するもの、INDOEXの値は人為起源エアロゾルに関するものである。大気上端（上段）、大気中への放射加熱（中段）、地表面（下段）での値である。各グループの左側が直接効果、右側が間接効果である。間接効果の値は大気下端でも大気上端とほぼ同じ大きさなので示さない。

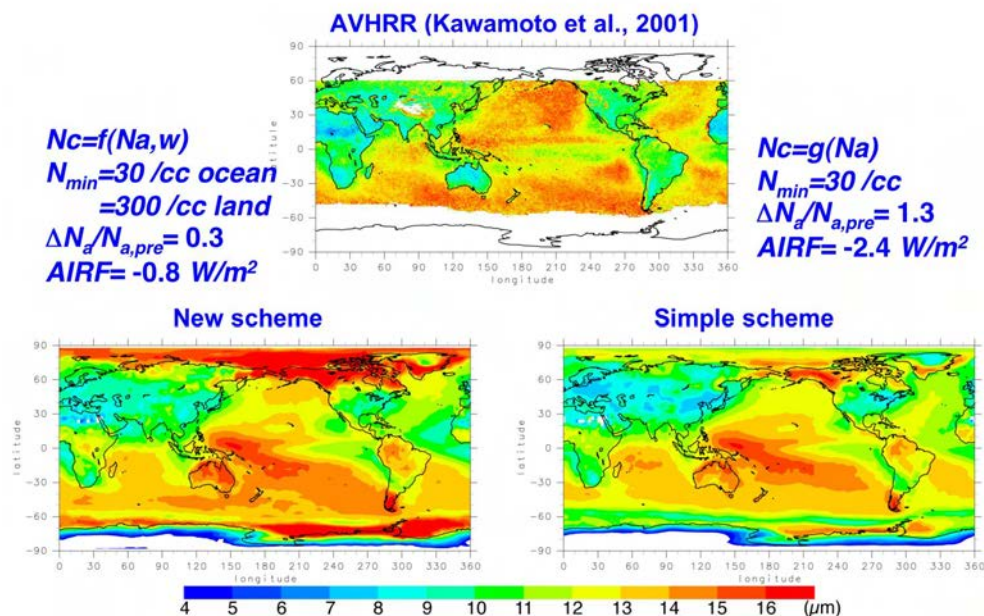


図4.7. 低層雲（雲頂温度が273度以上）の有効粒子半径（ミクロン）の全球分布。SPRINTARSの2つのパラメタリゼーション（New、Simple）による結果とAVHRRから得られた観測結果（Kawamoto et al., 2001）を比較する。

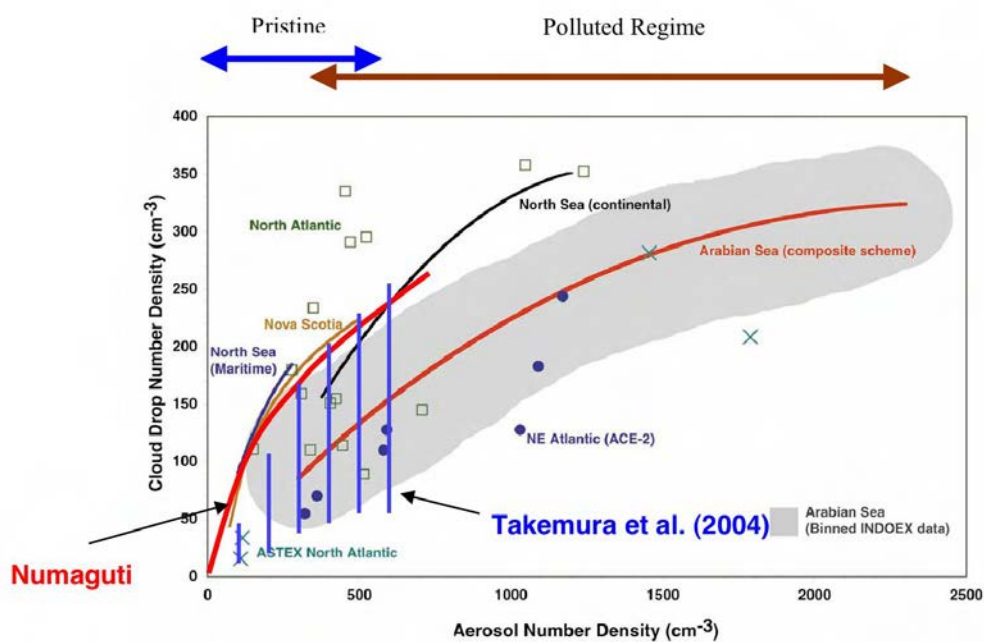


図4.8. エアロゾル数密度と雲粒子密度に関する相関。Ramanathan et al. (2001b)によるまとめ、Numaguti (1999)、Takemura et al. (2004)による結果を示す。

表 4.1 エアロゾル数と雲パラメーターに関する関係。

Reference	b_r	b_{τ}	b_w	b_N
AVHRR (Nakajima et al., 2001)	-0.32	0.55	0.23	0.5
GCM (Sundqvist)	-0.44	-0.08	-0.52	-
GCM (Berry)	-0.41	0.36	-0.05	-
GCM (Khairoutdinov)	-0.24	0.52	0.28	-
Bin Model (Suzuki)	-0.86	0.76	-0.10	0.8
Kaufman (1991)	-	-	-	0.7~0.8
Jones et al. (1994)	-	-	-	0.26

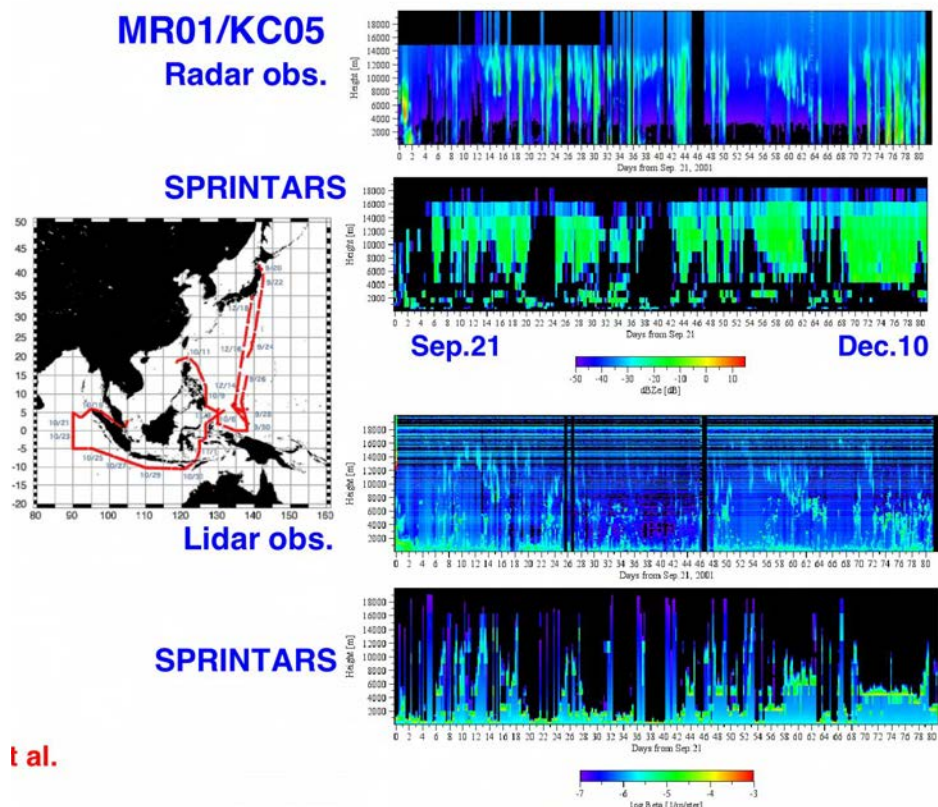


図4.9. 観測船みらいのMR01/KC05航路図と雲レーダー信号 (dBz) とライダー信号 (log beta) の観測値の時間一高度断面とSPRINTARSモデルによる信号再現値。横軸は2001年9月21日からの日数。

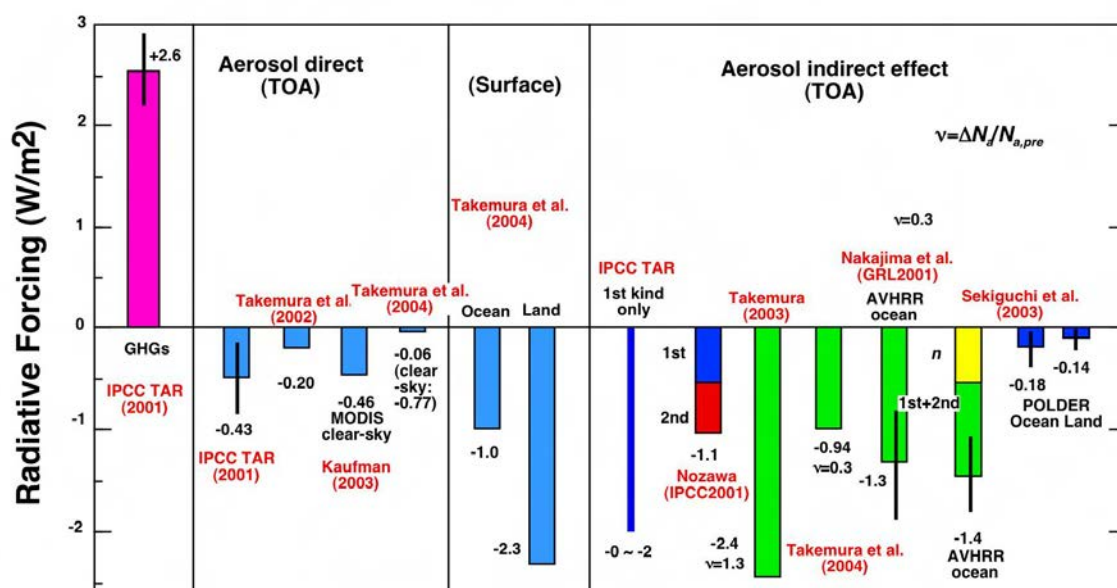


図4.10. 人為起源エアロゾルの放射強制力の評価。

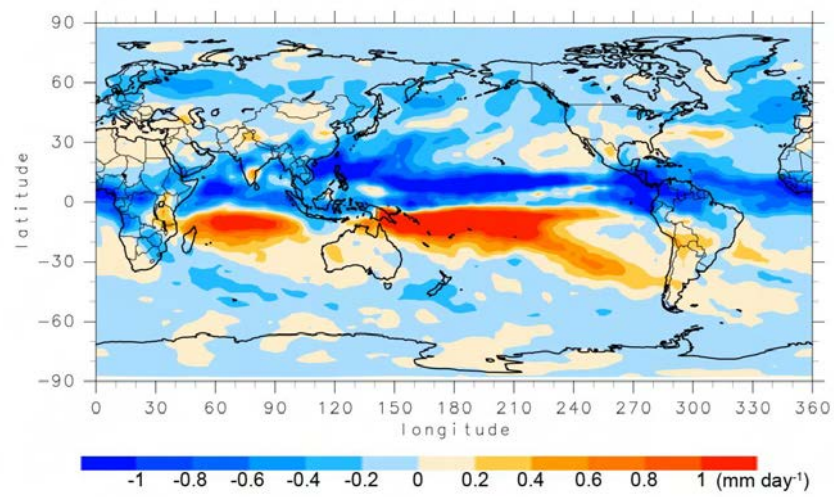


図4.11. CCSR/NIES GCMに組み込まれたSPRINTARSによる人為起源エアロゾルの引き起こす降雨量変化。

4.3 SKYNETと地上観測の結果

APEX プロジェクトでは、東アジア域における粒子状物質の変質に関する気候影響評価について、様々な角度から明らかにすることを目的として計画されている。衛星解析、航空機観測、地上観測を集中的かつ総合的に行い、粒子状物質の発生プロセスを含め領域モデルにより多面的かつ統合的に影響を理解することである。本項では、この趣旨に添ってエアロソル・雲・放射に関する地上観測の結果について述べることにする。

4.3.1 地上放射収支と放射強制評価

高村民雄（千葉大学環境リモートセンシング研究センター）

岡田 格（科学技術研究機構研究員，千葉大学環境リモートセンシング研究センター）

中島 孝（宇宙航空研究開発機構，地球

中島映至（東京大学気候システム研究センター）

（1）地上観測の概要と SKYNET

地上観測は、二つの目的を持つ。第一に地上観測から雲、エアロソルの放射強制量を評価することであり、第二に衛星データの解析から得られるエアロソル・雲・放射量の推定値の精度検証を行うことである。これらの目的に対して、APEX プロジェクトではこれまで他のプログラム等で既に開始されていた東アジアにおける高精度エアロソル・雲・放射観測ネット（SKYNET、図 4-3-1）をさらに充実させ、本プロジェクトの目的に沿うよう観測器材の強化と編成を行った。

この観測ネットは、エアロソルと日射・放射を観測する基本サイト(Basic site: i-sky radiometer, pyranometer, pyrgeometer)と、これにエアロソルの光学観測、雲観測等を追加した強化観測サイト(super site: pyheliometer, Microwave radiometer, Lidar, Skyview camera, Nephelo-meter, Absorption meter, Aerosol sampling system)からなっている。スーパーサイトではエアロソル・雲に関する多様な項目を観測しており、集中観測だけでなく、衛星解析やモデルの運用に合わせが常時データの収集がなされている。このためスーパーサイトからは自動的にデータ転送できるシステムを構築した(Takamura et al., 2004)。

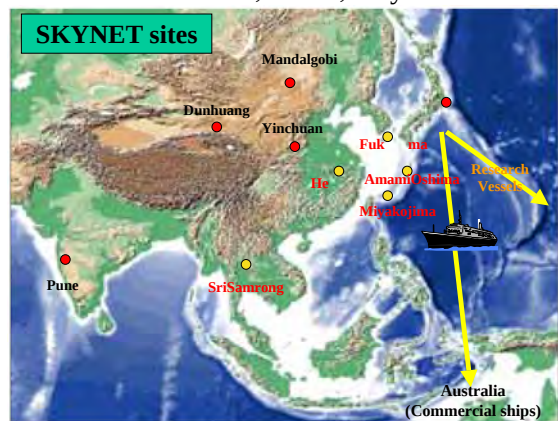


図 4-3-1 東アジアに展開している SKYNET 観測網

（2）エアロソルの放射強制

雲のない状態でのエアロソルの放射効果は直接効果と呼ばれ、光学的厚さを含むその性質により決まる。従ってエアロソルのこれらの情報を全球的に求めることでその評価を行うことが出来る。（別項「4.3.2 Sky radiometer 観測によるエアロソルの光学的特性」を参照）しかし、現時点では衛星からの全球のこれらのパラメータ推定は充分ではなく、限られたものとなっている。SKYNET 観測サイトでは、これら諸量の推定に対する直接評価を行う為に、前述のように sky radiometer と日射計を組み合わせで設置し

ており、アルゴリズム評価や推定値との比較検証などを行っている。

地表におけるエアロソルの放射強制量は、エアロソルの有無を比較することにより次式によって定義する；

$$Forcing(\%) = \frac{F_{obs} - F_n}{F_n} \times 100 \quad \dots \quad (1)$$

F_n ： エアロソルフリーの日射量の推定値 (W/m^2)

F_{obs} ：日射量の観測値 (W/m^2)

一方、エアロソルの単位の光学的厚さ当りでの放射強制力はエアロソルの光学的性質に依存しており、エアロソルの地域特性を見る上で興味深い数値であり次のように定義する；

$$R = Forcing / (\tau_{500} \times Airmass) \quad (2)$$

一般に R は複素屈折率の虚数部 (以下 Ni) に依存し、同一の光学的厚さにおいても吸収が強いほど大きな値を取る。ここでは、光学的厚さを求める際に虚数部を変化させて最適解を求めた。

SKYNET サイトである、敦煌、銀川、合肥の 3 地点での季節別の結果を表 4.3.1 に示す(新井, 2004)。この表から、日射の直接観測値から求めた R(Obs)と、sky radiometer の観測結果から屈折率 (虚数部) を変化させて推定した時の R(1.5-Ni)を比較することにより、その場所での屈折率の推定が可能となる。

表 4.3.1a 敦煌 (中国) におけるエアロソルの地上放射強制量

	Forcing(%)	R (obs)	R (1.5-0i)	R (1.5-0.005i)	R (1.5-0.01i)	R (1.5-0.02i)	R (1.5-0.03i)	R (1.5-0.05i)
spring	-8.322	-16.67	-9.48	-16.97	-23.67	-27.71	-28.77	-34.72
summer	-6.687	-18.01	-10.24	-20.4	-26.05	-30.47	-38.23	-58.02
autumn	-5.476	-15.77	-11.09	-20.18	-28.44	-28.66	-31.65	-43.00
winter	-8.111	-16.47	-10.56	-19.62	-28.26	-29.97	-36.01	-41.4

表 4.3.1b 銀川 (中国) におけるエアロソルの地上放射強制量

	Forcing(%)	R (obs)	R (1.5-0i)	R (1.5-0.005i)	R (1.5-0.01i)	R (1.5-0.02i)	R (1.5-0.03i)	R (1.5-0.05i)
spring	-16.56	-13.84	-8.34	-19.6	-22.75	-27.06	-29.72	-32.31
autumn	-13.77	-13.8	-9.03	-13.88	-15.56	-18.77	-20.2	-22.35
winter	-15.73	-16.49	-9.27	-12.98	-14.63	-16.86	-19.37	-21.97

表 4.3.1c 合肥（中国）におけるエアロソルの地上放射強制量

	Forcing(%)	R (obs)	R (1.5-0i)	R (1.5-0.005i)	R (1.5-0.01i)	R (1.5-0.02i)	R (1.5-0.03i)	R (1.5-0.05i)
spring	-21.8	-16.49	-9.75	-15.94	-18.58	-22.36	-25.52	-31.41
summer	-22.7	-13.54	-8.00	-11.27	-12.95	-15.54	-17.20	-19.76
autumn	-20.31	-15.26	-9.72	-13.40	-16.02	-19.28	-22.31	-26.15
winter	-24.26	-16.99	-10.21	-14.61	-16.59	-19.36	-22.03	-27.55

表 4.3.1 によると、放射強制量(Forcing, %)は敦煌、銀川、合肥の順に強くなっており、これが光学的厚さに強く依存する量であることから、この順に大気の汚れが進んでいることが分かる。ここで、合肥の放射強制量が極めて大きく、20%を超えていることが特徴的である。これは sky radiometer の結果と併せてみると、平均の光学的厚さが1以上を示しており、大気が極めて混濁していることを示す。一方、R は冬から春にかけて16-17%前後で推移しているが、敦煌で夏季に大きくなり銀川と合肥で小さくなる傾向が見られる。しかし、詳細に見ると夏季の敦煌でも虚数部が他の季節と比べてそれ程大きくなっているわけではなく、これは粒径分布の変化に起因するものと思われる。

エアロソルの吸収性自体は、予想される通り敦煌で小さく合肥で大きい。これはサイトの地理的・気候的特徴と人間活動状況を良く反映しており、敦煌が砂漠地帯でしかも市街地から離れた空港でのデータに対して、銀川は同じく砂漠地帯にあるものの周辺に市街地が広がりその影響を受けている可能性が指摘できる。一方合肥は、湿潤な気候で、周辺は農地、大規模市街、工業地が混在した場所にある。強い吸収性エアロソルの存在と濃いエアロソルはこれらに起因すると予想される。

陸域エアロソルについては、前述のように全球的に十分な推定が行われておらず、特に東アジアのような急速に発展しつつある地域ではその重要性にもかかわらずデータは少ない。表からも分かるように、日射に与える影響は大きな地域差を持つと同時に、予想以上に大きく、さらに十分な調査と衛星データ解析との連携による広域調査・影響評価の重要性が指摘される。

地上観測からは、これらの情報の他に放射影響評価に重要な単一散乱アルベド、非対称因子なども推定されており、スーパーサイトにおけるエアロソルの散乱係数、吸収係数、立体構造などの情報を総合することにより、より信頼性の高い解析が行われる。

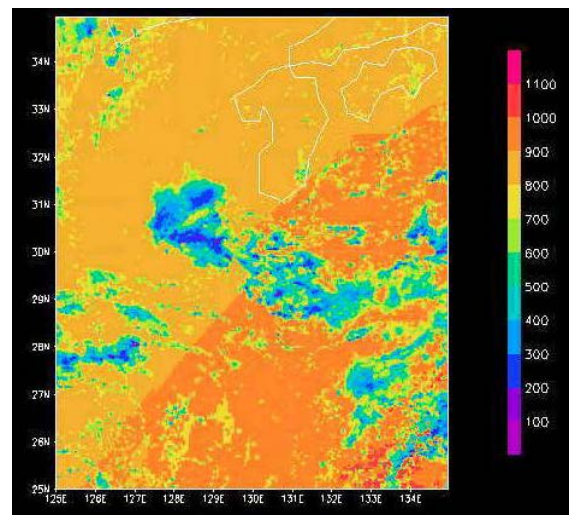


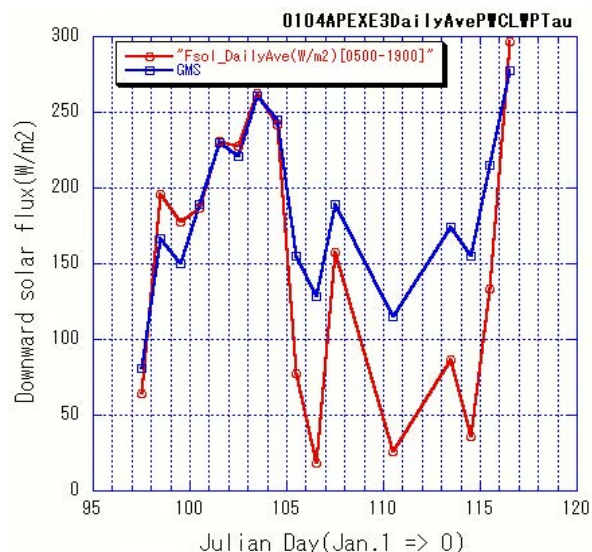
図 4-3-2 GMS-5 により推定された地表面日射量(W/m²). 推定領域は、東経 125～135 度、北緯 25～35 度。

(3) 衛星放射収支と雲の放射強制

地表面での放射収支の日変化や日平均を求める為には、静止衛星による時間分解能の高い解析が必要である。地上観測チームは、GMS-5 を用いて東アジアを中心とした地表

面放射収支を求めるために、地表面太陽フラックスの推定を行ってきた。図はこの一例を示す。これは **GMS-5** の原データを 0.05 度の等緯経度になおした可視チャンネル反射率から雲の光学的厚さを推定し、この情報を利用してフラックスの推定をしたもので、東経 125～135 度、北緯 25～35 度の領域である。図中明るい部分ほど高いフラックスを示しており、右上から左下にかけて顕著な色の違いは、

図 4-3-3 APEX-E2 期間中の奄美大島サイトにおける下向き日射量の推定値(GMS-5)と観測値（日平均値）の比較。



快晴状態における太陽直下から同心円上に周辺に向かって減少するフラックスの一部を示している。また雲の下で、日射の減衰する様子が分かり、これは雲の光学的厚さの分布と殆ど同じものである。

この地表での推定精度を確認する為に **SKYNET** サイトの一つである奄美大島での日射観測値と、この推定値を日平均値で比較した（図 4-3-3）。図から明らかなように、衛星データによる推定は、観測値と概ね良く一致するが、雲の厚い条件下での過大評価が顕著である。この原因を解明する為に雲の光学的厚さについて、**GMS-5** による推定値を **TERRA/MODIS** の結果と比較する。

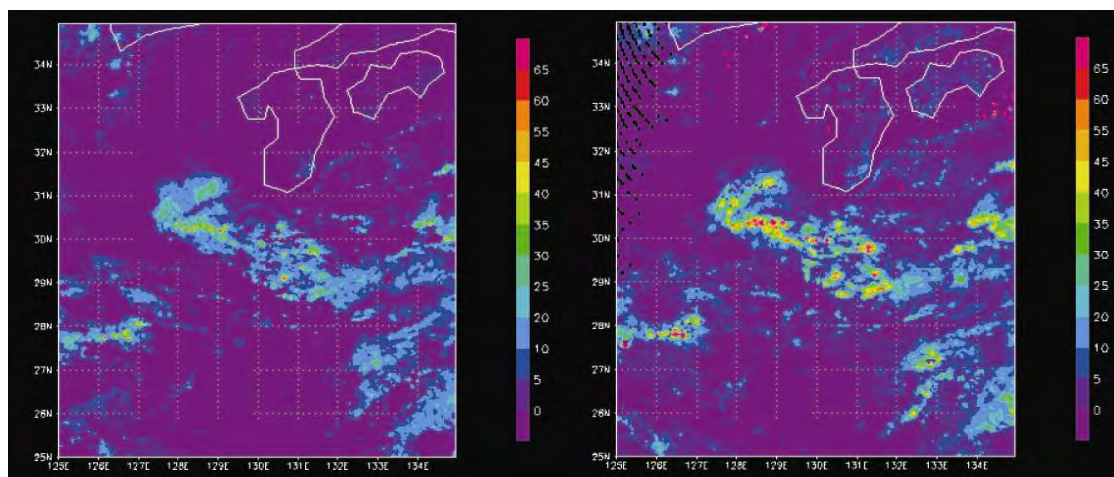


図 4-3-4 **GMS-5**（左）及び **TERRA/MODIS**（右）による雲の光学的厚さの比較例。
2004.4.6 02UT のもの。

雲のパラメータ推定では、**GMS-5** はチャンネル数が少ないことや空間分解能が良くないことなどの弱点を持っている。一方 **TERRA/MODIS** は狭帯域フィルターで多数のチャンネルを内蔵しており、これらは克服できるが、軌道衛星である為時間分解能が悪く比

較の機会は限定される．ここで比較に用いる解析アルゴリズムは， Nakajima and Nakajima(19xx)を用い，GMS-5 では可視 1 チャンネルと有効雲粒径を 10 μ m と仮定して推定する．一方 MODIS では可視 0.86 μ m と近赤外 3.7 μ m の 2 チャンネルによって光学的厚さと有効粒径を推定する．

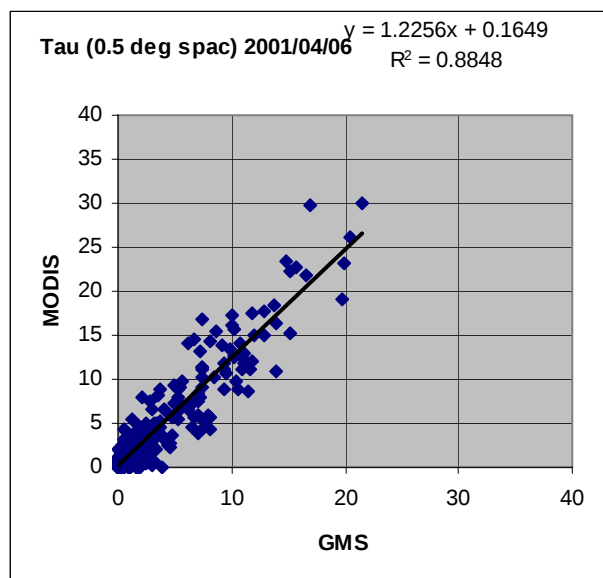


図 4-3-5 図 4-2-4 に示された GMS 及び MODIS による 0.5 度単位での光学的厚さの比較．

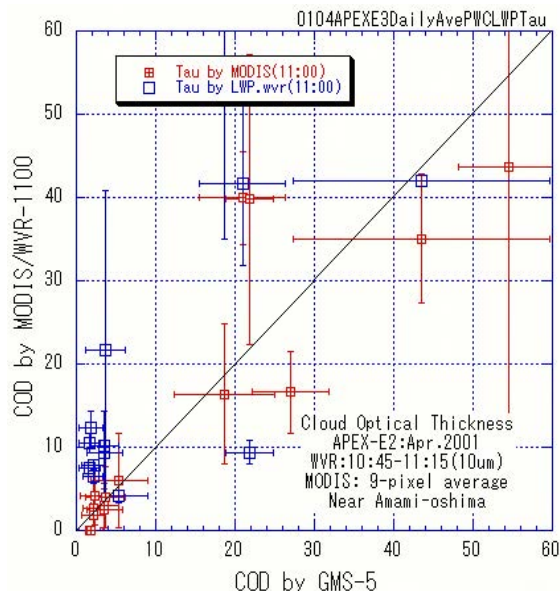


図 4-3-6 奄美大島観測サイト周辺での GMS と MODIS の光学的厚さの違い．

図 4-3-4 は，GMS-5 と TERRA/MODIS から得られた雲の光学的厚さの分布であり，ほぼ同時刻(02UT, Apr.6, 2001)のものである．この領域では，両者の観測時間に 10-30 分程度のずれが見られるのが普通である．雲パターンは，両者でよく似ているが，細部を見ると，所々に違いが見られ，観測時間の違いによる雲の発達の違いを表している可能性が予想される．光学的厚さでは，MODIS の結果が高めに出ているところがあり，単に観測時間の違いで説明しにくいものである．

両衛星データに時間差があること，完全に地図上のマッチングが取れていない可能性があることなどを考慮し，空間分解能を 0.05 度から 0.5 度におとした平均として，図 4-3-4 の全てのデータを GMS と MODIS の両者で比較したものが図 4-3-5 である．光学的厚さの増加につれて，MODIS の推定値が GMS のそれを上回っていることが分かる．これは，GMS による日射推定値の過大評価から見れば合理的な結果であるが，類似のアルゴリズムを利用している点から言えば，MODIS が過大に出る根拠はない．しかし氷雲の取り扱いに違いがあるなど，高く発達した雲では明らかな違いも予想され，細部を検討中である．

一方 APEX-E2 期間中の，奄美大島観測サイト周辺での GMS-5 と MODIS による雲の光学的厚さ(COD)の相関を図 4-3-6 に示す．これは，図 4-3-3 に対応しているが，MODIS 観測が 02UT 前後に限定されることから，日射に対応した日平均ではなく，通過時の瞬時値である．ただし，時間平均に代わり位置のずれや時間の違いを吸収する為に，奄美大島観測サイトの東海上のそれぞれ 3 x 3 ピクセルの平均とした．これはおよそ 15 km x 15 km 程度の広さに相当する．

この図を見ると、GMS と MODIS の一致は比較的良く、雲が光学的に厚いところで GMS 推定が過小評価になっている傾向は見られない。参考の為に、ここでは奄美大島観測サイトに設置してあるマイクロ波放射計から予想される光学的厚さも記入した（青印）。推定される光学的厚さは、有効雲粒径を 10 μ m と仮定（GMS の仮定と同じ）した時の雲水量に対するものである。GMS-MODIS に比べて相関が悪い。放射計設置場所と衛星解析のターゲットとされた領域は数 km 離れており、時間的な違いや空間的な違いが反映された結果かも知れない。これらのことは、雲パラメータの定量的な比較を行おうとする場合、雲の水平均質性が極めて重要なことを示唆している。

衛星による地表面収支の推定に関するこれまでの研究で、GMS-5 を用いた地表面日射量、晴天時地表面輝度温度分布、雲量分布、光学的厚さ分布等のプロダクトを作成してきた。SKYNET によるこれまでの比較研究から、GMS-5 から推定される雲の光学的厚さが実際より小さいことが統計的に示されてきた。その原因について、MODIS やマイクロ波放射計から得られる結果との比較などが試みられてきたが、まだ十分な解明に至っていない。衛星視野の問題、雲の非均質による幾何学的配置の違いの影響等について評価中であり、さらに多面的に違いの原因を明らかにする予定である。

（４）まとめと今後に期待される成果

SKYNET 観測網を用いたエアロソル・雲の放射効果に関する定量評価を行ってきた。エアロソルの直接放射強制効果は、中国 3 カ所の sky radiometer 及び日射計の観測結果から 8 % から 20 % 程度と広く変動し、地域的特徴が強いことが明らかとなった。

東アジア域から熱帯にいたる領域での地表面日射量の推定では、APEX 期間中の比較研究から、快晴又はそれに近い状態では精度良く推定出来ることが明らかとなった。一方、曇天時、特に光学的に厚い雲の場合には、その光学的厚さを過小評価する傾向が強いことが示された。この原因はまだ明らかとなっていないが、MODIS との比較、マイクロ波放射計との比較などの多様なデータを用いて今後明らかにする予定である。

今後、これらの成果をもとに日変化を含む高精度の地表面放射収支量の評価を行うことが可能となる。これは一層の雲・エアロソルの気候影響評価に資することにもなり、東アジアにおける急速な環境の変動に伴う気候影響に重要な寄与をなすものと考えられる。

参考文献：

Nakajima, T.Y. and T.Nakajima, 1995: Wide-area determination of cloud microphysical properties from NOAA AVHRR measurement for FIRE and ASTEX regions, J. Atmos. Sci., 52, 4043-4059.

Takamura, T, T. Nakajima and SKYNET community group, 2004: Overview of SKYNET and its Activities, AERONET International Workshop, May 10-14, 2004, Univ. Huelva, Spain (Proceedings to be published).

新井健一，2004：エアロソルの放射強制力及び複素屈折率の推定に関する研究，千葉大学大学院自然科学研究科 2003 年度修士論文。

4. 3. 2 Sky radiometer 観測によるエアロゾルの光学的特性

青木一真（富山大学）

遠藤辰雄（鳥取環境大学）

高村民雄（千葉大学環境リモートセンシング研究センター）

中島映至（東京大学気候システム研究センター）

（1）Sky radiometer 観測と解析概要

エアロゾルの気候影響を評価するためには、定量的な測定が必要不可欠である。地球規模での衛星観測はもちろん、地上検証も含め、地上から精度良くモニタリングすることが重要である。そこで、我々は、太陽直達光と周辺光の角度分布の放射輝度を測定出来る Sky radiometer を用いたエアロゾルの光学的特性（エアロゾルの光学的厚さ、オンゲストローム指数、一次散乱アルベド等）や粒径分布等の観測研究を進めてきた。

Sky radiometer は、2つのタイプに分けられる。ひとつは、地上観測用で、エアロゾル、オゾン、水蒸気量の吸収波長帯を持つ7波長（315, 400, 500, 670, 870, 940, 1020 nm）の観測機器（POM-01）とさらにエアロゾルの波長と雲の光学的特性を測定する波長をプラスした11波長（315, 340, 380, 400, 500, 670, 870, 940, 1020, 1600, 2200 nm）の観測機器（POM-02）がある。もうひとつは、海洋上で観測出来るように開発された船舶用の観測機器（POM-01/MK-II）がある。基本的には、地上用と同じであるが、船舶の動揺を除去するために、CCDを2軸に設置し、太陽からの位置情報を得られるように設計されている。測定は、各サイト（図 4-2-7, 4-2-8）で日中の晴天時に連続観測を行った。

解析は、SKYRAD.pack version 3 及び version 4.2 (Nakajima *et al.* 1996)を使用し、観測サイトから自動的にデータを転送し、準リアルタイムに web 上（SKYNET Sky radiometer Archives: <http://peach.ccsr.u-tokyo.ac.jp/~kazuma/skynet/skyrad.html>）で結果を見られるように自動解析システムを構築し、また、再解析データも後日 web 上で閲覧できるようになっている。解析手順は、30度までの前方散乱のデータを使い、光学的厚さ等を求め、その結果をもとに改良ラングレー法を用いて、測器の真の定数を決め、観測時間によって使用角度は様々であるが、後方散乱まで使用して、再度、エアロゾルの光学的特性を求めることにした。

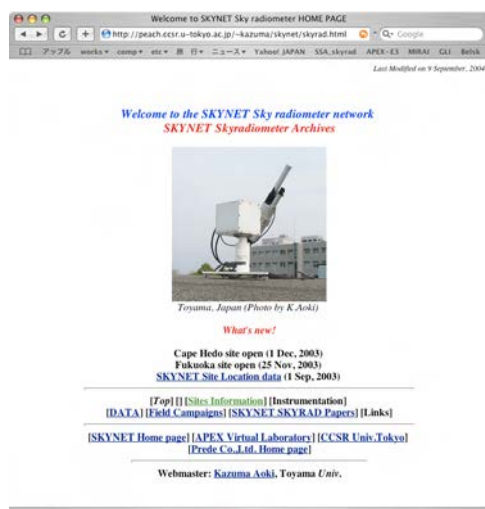


図 4-3-7 SKYNET Sky radiometer Archives web page.

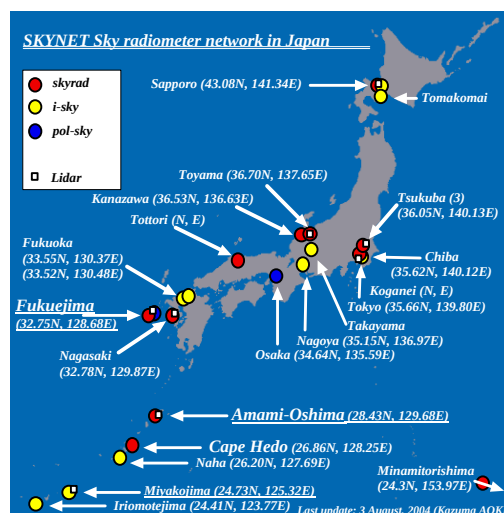


図 4-3-8 日本の Skyradiometer と関連サイト。

(2) 地上観測

青木一真 (富山大学)

高村民雄 (千葉大学環境リモートセンシング研究センター)

中島映至 (東京大学気候システム研究センター)

APEX E-1 (11 - 24 December, 2000), E-2 (1 -30 April, 2001), E-3 (15 March - 16 April, 2003) 期間中は、奄美大島 (千葉大: 28.43N, 129.68E)、宮古島 (気象研: 24.73N, 125.32E)、福江島 (近畿大: 32.75N, 128.68E) を中心とした観測サイトで、sky radiometer の連続測定を行った。ここでは、広範囲なエアロゾルの光学的特性の違いを見るため、上記の奄美大島と長崎 (長崎大: 32.78N, 129.87E)、札幌 (北大: 43.08N, 141.34E)、Sri-samrong, Thailand (千葉大: 17.17N, 99.87E) の4つの地点の APEX-E3 期間中を含む、ADEOS-II (みどり2号) /GLI のオペレーション期間 (2003 年 3 月~10 月) の結果を比較した。図 4-3-9 は、上記期間中の4つのサイトのエアロゾル粒子が吸収に寄与するか散乱に寄与するかを見る 500 nm の一次散乱アルベド (SSA(0.5))、粒径の大小の指標となるオングストローム指数 (Alpha) とエアロゾルの量を示す 500 nm のエアロゾルの光学的厚さ (AOD(0.5)) の関係を示したものである。

奄美大島は、SSA(0.5)や Alpha の変動が他のサイトよりも大きい。また、海洋性気団の影響で、測定角度領域に雲の影響を受けやすく、取得データが他と比べて少なかった。長崎は、AOD(0.5)は高くないものの、Alpha が高い傾向にあった。同様に札幌も Alpha が高く、SSA(0.5)が低くなる部分があったが、これは、シベリアの森林火災の影響により、長距離輸送されたエアロゾルの影響を観測されたと考えられる。日本の3地点で、SSA(0.5)が高く、Alpha が低い、すなわち大粒子の影響で AOD(0.5)が高くなっている部分は、春の黄砂現象を観測できていることが示されている。Sri-samrong は、日本の3地点とは異なり、全体的に AOD(0.5)が高い状態であることが確認された。特に、SSA(0.5)が 0.8 で Alpha が 1.0 付近から SSA(0.5)が 0.95 で Alpha が 1.5 付近にかけては、非常に AOD(0.5)が高い傾向にあり、他の3地点との違いが明確に現れた。それぞれ4地点で、定量的な把握と散乱・吸収過程と粒子の大小の関係から違ったエアロゾルのタイプを確認することが出来た。

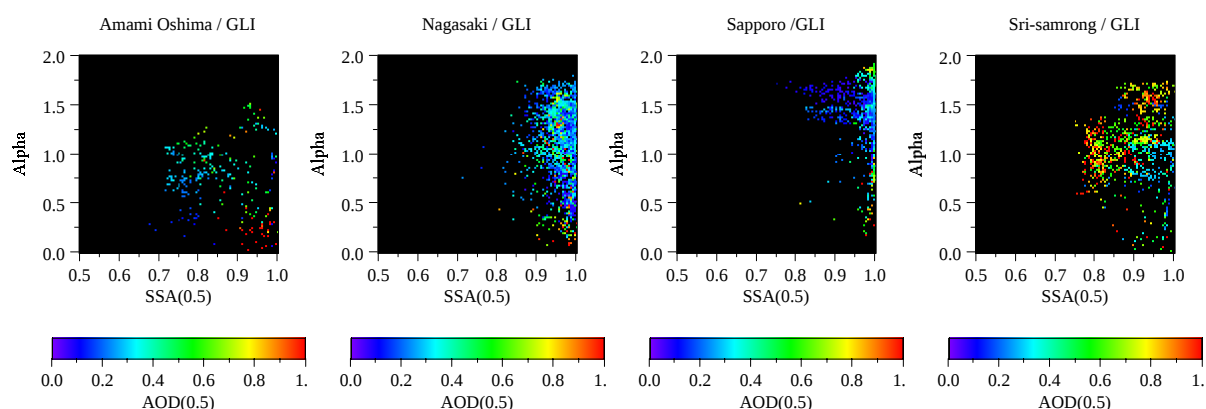


図 4-3-9 奄美大島、長崎 (長崎大: 32.78N, 129.87E)、札幌 (北大: 43.08N, 141.34E)、Sri-samrong, Thailand (千葉大: 17.17N, 99.87E) における 500 nm の一次散乱アルベド、オングストローム指数 (α) と 500 nm のエアロゾルの光学的厚さの関係

(3) 船舶観測

遠藤辰雄（鳥取環境大学）

高村民雄（千葉大学環境リモートセンシング研究センター）

中島映至（東京大学気候システム研究センター）

(ア) 目的

大気中のエアロゾルによる地球温暖化に対する放射強制力の地上からの観測による算出値とリモートセンシングによる計測値との比較検証を行うことから、最終的にはリモートセンシングデータを用いて、全球的な放射強制力の評価をすることになる。

衛星からの地球大気エアロゾルの観測は、陸上域については複雑な植生や地勢による大きくて変動の激しいアルベードから区別することがかなり困難である。これに対して大洋上では海面のアルベードは、陸上に比べてかなり低く、しかも広い範囲に亘って水平に一樣であるので、リモートセンシングで観測するエアロゾルのデータは分解能からみてもかなりの広域にわたる平均値に相当する。したがって、それと比較検証する地上からの観測は、時空間的に一様性が高い海洋上で行う必要がある。それには孤島では海岸の複雑な影響に妨害されて不十分であり、やはり大洋上の船舶での観測が最適である。しかるに動揺する船舶において太陽を追跡するような光学的な観測は技術的に極めて困難であり、そのため観測例は極めて少なく、海域も限られているのが現状である。

そこで船舶用に開発されたスカイラディオメータによるモニタリングの早急なる実用化試験を行ない、海洋上で多数の船舶による無人観測システムを展開に資することが本研究のねらいである。

(イ) 実施方法

試験観測を行った対象船舶は、海洋科学技術センター所属の海洋地球研究船「みらい」であり、さらに株式会社商船三井所属の石炭運搬船「矢作丸」と同鉄鉱石運搬船「神山丸」の3隻である。これまで利用していた東京大学海洋研究所所属の研究船「白鳳丸」は管理替えになり、他の3隻より動揺が激しく、しかも設置場所の観測環境は必ずしも理想的でないので、この観測船の利用は取りやめた。しかし、それに搭載していたスカイラディオメータはブリード社の屋上での更正観測にあてがい、特に角度検定や動揺補正応答試験等に時間をかけて検定観測をおこなっているところである。

(ウ) 研究成果

今回のデータについては、船舶の動揺によるずれに対する角度補正は現在のところソフトの改良途上にある。しかし、巨大な商船の観測例では条件が良いと周期の小さい速い動揺が少なく安定したエアロゾルの粒径分布が得られている。そこで、動揺の少なく、上空の雲分布のむらや時間変化が少ない条件の良いものだけを選択して解析してみた。

これらの観測期間のすべてから得られた平均値を緯度軸に投影したものを概観することから、これだけの長期間に亘る多数の観測値の集計結果を見ることができる。それによると緯度依存性が明らかに認められている。つまり混濁度の緯度分布は赤道を中心に南北に非対称であり、北半球の高緯度ほど大気が混濁していることが分かる。一方、Ångström Exponentの緯度分布では、赤道よりやや南に有意な高まりが一山分布で認められる。このことは、この観測期間が冬期にあたり、ITCZが南回帰線寄りに分布している

と考えるとこの高まりに相当するとみなすことが出来る。その辺りには、発生して間もない小さな粒径のエアロゾルが卓越して存在することを示していることになる。

また、エアロゾル粒径分布の平均値と最小二乗誤差範囲を眺めると、北半球高緯度で明らかな人為起源により汚染されたところでは、典型的な都市の二山分布が信頼度の高い粒径範囲に認められる。その他に $10\ \mu\text{m}$ 辺りに見られる高まりは海霧の名残と想像される。

北緯 30 度と北緯 10 度には $0.03\ \mu\text{m}$ を中心とした山が認められ、これらの航路に沿って海塩核のリサイクル粒子が相当する粒径範囲である。

(エ) 結論

日本から豪州に至る航路に沿った観測において、約半年間のかなりの長期に亘って得られた比較的質の良いデータを集計することが出来た。それによると、南北両半球では高緯度と低緯度の間に、大気エアロゾルの光学的厚さに大きな違いが見られ、赤道を中心として、ほぼ対称的であるが、北半球の方が強く汚染されていることが窺える。

赤道域では光学的厚さが極めて小さいにも拘らず波長依存性 (Ångstrom Exponent) と単分散アルベド (Single Scattering Albedo) が、いつも比較的大きな値であることが注目される。光学的厚さが小さいところでは、計算不安定が目立ってくることから、粒子が極小さいところにモードが出来やすいという危惧を注意して検討していくことも必要であるが、それと平行しながら、このことが意味する自然現象としての可能性を取り上げていく必要は高いと言える。ひとつの可能な説明として、ここで構成するエアロゾル粒子が、発生して間もない若い粒子であること、さらに光学的に透明であること等が考えられる。このことは赤道域の対流圏上部でかなりの海塩核粒子が航空機観測で捉えられたという池上らの報告と符合することで興味あることである。

インドネシア付近の海上では、半径で $0.1\sim 0.5\ \mu\text{m}$ の粒径範囲に一つ山のモードがいつも再現性良くみられるが、Aoki and Fujiyoshi の研究 (Aoki and Fujiyoshi, 2003) でのロシアの森林火災の影響と対応する粒径範囲であるので、ここでも森林火災や焼畑等によるバイオマスバーニングに対応するものとして注目される。

これらの粒径分布において。たびたび半径 $10\ \mu\text{m}$ 以上の粒径範囲に、もう一つのモードが見られているが、可能な原因として、海水の飛沫・海霧・MBL (海洋境界層) の Top に形成される層雲からたなびく大雲粒等が挙げられる。

(オ) 今後の成果

観測を継続するとともに、過去のやや荒天時に得られたデータをも出来るだけ有効に解析する手法を確立する。それにより解析例を増加することから海域ごとの季節特性を確立する。それをもって衛星からのリモセンデータの長期間の平均値と比較検証することを最終目標とする。

(カ) まとめと期待される効果

太陽直達光と周辺光の測定から、エアロゾルの光学的特性の時間・空間変動を自動観測によって定量的に精度よく得られるばかりでなく、衛星 (ADEOS-II/GLI 等) の地上検証データや数値モデル (SPRINTARS 等) の検証データに使われ、エアロゾルの気候影響の評価に役立つこととなった。特に、時間分解能よく、短期イベント (黄砂現象や森林

火災の長距離輸送)や長期トレンド(季節変化等)を捕らえることが出来、これからもこの蓄積されたデータを利用して、気候影響を定量的に把握する基礎データとして使われることが期待される。また、今まで、船舶の動揺等で難しかった海洋上のエアロゾルの変動を地上同様に測定できるようになり、7割を占める海洋上のデータの蓄積により、さらに衛星観測や数値計算の検証等に利用されることが期待される。

参考文献：

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, 2672-2686.

Aoki and Fujiyoshi, 2003: Sky radiometer measurements of aerosol optical properties over Sapporo, Japan, JMSJ, 81, 493-513.

4. 3. 3 奄美大島・福江島・宮古島における大気エアロゾルの光学・化学特性

太田幸雄（北海道大学・大学院工学研究科）

鶴田治雄（東京大学・気候システム研究センター、
科学技術振興機構（前農業環境技術研究所））

1. はじめに

大気エアロゾルの気候影響の評価のためには、地球上の各地域における大気エアロゾルの季節別の光学特性および化学特性が明らかにされねばならない。特に東アジア地域は、黄砂の流出と工業化の進展に伴う人為起源エアロゾルの増加が注目されている地域である。

そこで本研究では、東シナ海域の離島三島（鹿児島県奄美大島、長崎県福江島および沖縄県宮古島）において、2002 年 7 月より、エアロゾルの光学特性（吸収・散乱係数）の連続測定を行っている。さらに、奄美大島および福江島において、2000 年 12 月、2001 年 3 月～4 月、2003 年 3 月～4 月に集中観測を行い、エアロゾルの光学特性の測定と、フィルター採取によるエアロゾルの化学成分分析を行った。また、測定された化学組成から求めた単一散乱アルベドと、光学機器を用いて測定された値から求めた単一散乱アルベドとを比較検討した。以下、それらから得られた主な結果について報告する。

2. 測定概要

2.1 長期観測

2002 年 7 月から 3 地点（鹿児島県奄美大島、長崎県福江島、沖縄県宮古島）で、Radiance Research 社の Integrating Nephelometer (IN)を用いてエアロゾルの散乱係数 σ_{sp} を測定し、また、Radiance Research 社の Particle Soot / Absorption Photometer (PSAP) および 2002 年 7 月からは北大の太田研究室において開発した Sampling Photometer (SP) を用いてエアロゾルの散乱係数 σ_{ap} をそれぞれ測定した。ただし、奄美大島においては吸収係数のみの観測となった。また宮古島における散乱係数の測定値は、気象研究所から提供いただいた。得られた散乱係数と吸収係数から、単一散乱アルベド ω を算出した。

2.2 集中観測

期間：第 1 次（E1：2000 年 12 月 11 日～12 月 23 日）

第 2 次（E2：2001 年 4 月 4 日～4 月 30 日）

第 3 次（E3：2003 年 3 月 15 日～4 月 16 日）

地点：奄美大島と福江島（E1 は奄美のみ）

項目：エアロゾルの光学特性測定と、フィルター採取後の化学分析による集中観測を行った。

(1) エアロゾルの採取（詳細は他の資料を参照）

微小粒子と粗大粒子あるいは全粒子を、フィルター法で 1 日毎に連続採取した（流量 20L/min）。

(2) エアロゾルの化学分析（詳細は他の資料を参照）

(a) 炭素成分の分析：北大で独自に開発した熱分離法で、また、IMPROVED 法による EC/OC 分析計で、元素状炭素(EC)と有機炭素(OC)を分析した。なお、これらの分析法のクロスチェックも行った。

(b) 無機イオン成分：イオンクロマトグラフで、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、

Ca^{2+} , Mg^{2+} を分析した。

(c) 金属成分等の微量元素の分析

ICP-MS を用いて、Na, Mg, Al, K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb を分析した。また、PIXE 法で、約 30 の微量元素(Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, V, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Hg, Pb, Se, As, Br, Sr, Rb, Y, Zr, Nb, Mo など)を分析した。

(3) 各成分濃度の算出

以上の化学分析によって、大気エアロゾル中の各成分濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] を求めた。ここで、有機物 (Organic Compounds ; 以下 Org)、海塩起源陽イオン (Sea Salt Cation ; S. S. C.)、土壌 (Soil) については、それぞれ OC、 Na^+ 、Al などの濃度から求めた。

(4) ガスの連続測定: 奄美大島では、2000 年 12 月から大気中の二酸化硫黄(SO_2)濃度を、また、2001 年 4 月からオゾン(O_3)濃度を連続測定している。

3. 測定結果

3.1 長期観測 福江島および宮古島における 2002 年 7 月から 2003 年 11 月までの連続観測の結果を図 4-3-10 と図 4-3-11 に示す。また、福江島、宮古島、奄美大島における春季 (3~5 月) および夏季 (6~8 月) の平均値を表 1 に示す。この長期観測において、散乱係数、吸収係数ともに 3 月に高く 8 月に低いという傾向が見られた。これは、以下の集中観測結果で示すように、東シナ海域においては、春季に西方からの季節風により、大陸で発生した黄砂粒子と汚染物質が輸送され、一方、夏季には小笠原気団の影響で太平洋沖合の気塊が輸送されてくるためと考えられる。なお、宮古島における長期観測の結果も福江島と同じような変動を示したが、その値は、福江島の値と比べて散乱係数、吸収係数共に約半分であった。

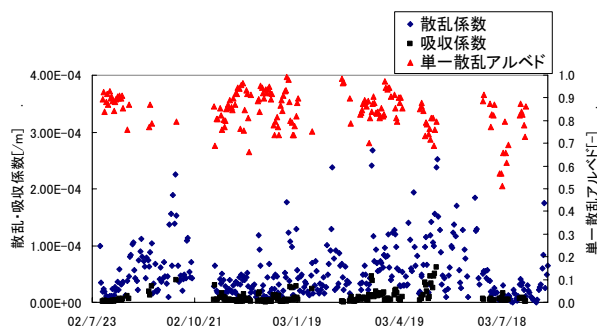


図 4-3-10. 福江島における光学特性の平均値

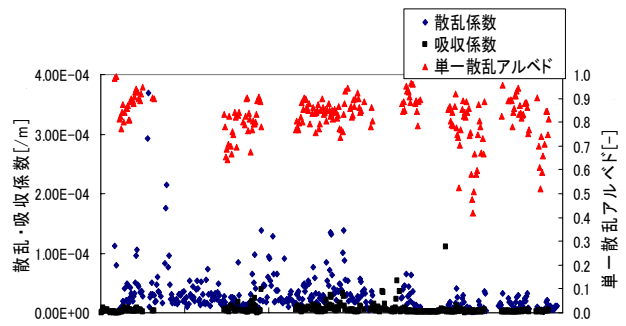


図 4-3-11. 宮古島における光学特性の平均値

表 1. 春季および夏季の光学特性の平均値 (※表中の値は左が春季、右が夏季を示す)

	福江島	宮古島	奄美大島
散乱係数 [$\times 10^{-6}/\text{m}$]	74.1/41.7	38.7/16.5	—
吸収係数 [$\times 10^{-6}/\text{m}$]	13.8/5.28	8.62/5.06	7.43/4.29
単一散乱アルベド [-]	0.84/0.83	0.84/0.80	—

3.2 集中観測

福江島における 2001 年 3 月と 2003 年 3 月～4 月、および奄美大島における 2001 年 4 月の集中観測による、散乱係数、吸収係数、単一散乱アルベド、炭素成分、水溶性イオン成分、金属成分の測定結果を以下に示す。

3.2.1 福江島における 2001 年 3 月 19～27 日の観測

図 4-3-12～4-3-13 に福江島における 2001 年 3 月 19～27 日の観測結果を示す。図 4-3-12 より、3 月 21 日から 22 日にかけて、散乱係数が $4.5 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ という非常な高濃度のエアロゾルに覆われた。また、単一散乱アルベドは 0.70～0.85 であった。なお、これらの値は、粒径が $2 \mu\text{m}$ 以下のいわゆる微小粒子についてのものである。この間のエアロゾルの化学組成を図 4 に示す。粗大粒子に多量に存在する土壌粒子の変動を見るために、全粒子(粗大粒子+微小粒子)についての化学組成を示した。この図から、21 日、22 日ともに硫酸イオン (SO_4^{2-}) と土壌粒子 (Soil) 濃度が特に高濃度であったことがわかる。

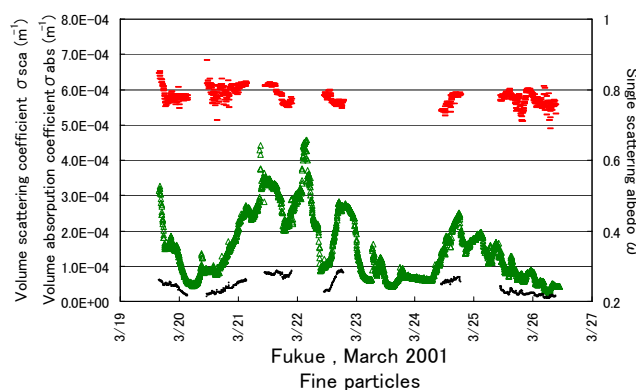


図 4-3-12. 2001 年 3 月の福江島における微小粒子の散乱・吸収係数と単一散乱アルベド

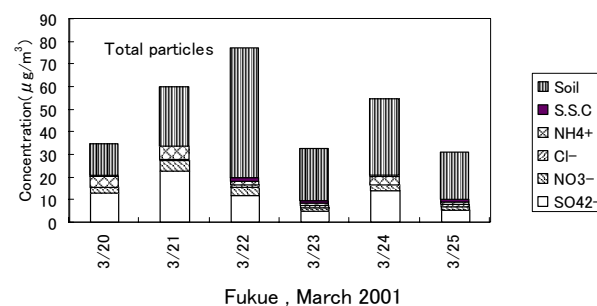


図 4-3-13. 2001 年 3 月の福江島における微小粒子の光学組成

後退流跡線解析を行なったところ、この両日は中国大陸から輸送されていたこと、および金属成分の分析からは、亜鉛 (Zn) と鉛 (Pb) の濃度が特に高かったことから、これらの高濃度エアロゾルは、高濃度の黄砂粒子の他に、さらに中国起源の大気汚染エアロゾルが輸送されてきた結果ひきおこされたものと考えられる。

3.2.2 奄美大島における 2001 年 4 月 2 日～29 日の観測

図 4-3-14～4-3-16 に、奄美大島における 2001 年 4 月 2～29 日の観測結果を示す。図 4-3-14 より 4 月 4 日、10 日午後～17 日に、散乱係数が $1.0 \sim 2.0 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ の高濃度を示している。単一散乱アルベドは 0.75～0.99 まで変動しているが、特に散乱係数の高かった 4 月 4 日および 12 日～17 日は、0.80～0.90 の範囲にあった。ただし、4 月 10 日の午後～11 日午前には単一散乱アルベドは 0.95～0.99 という非常に高い (透明なエアロゾルとしての) 値を示している。

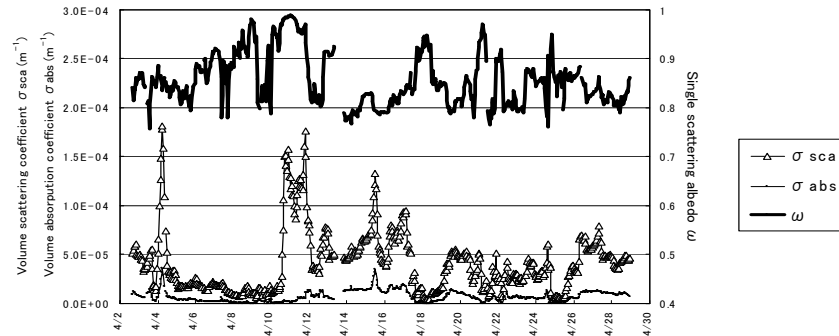


図 4-3-14. 2001 年 4 月の奄美大島における微小粒子の散乱・吸収係数と単一散乱アルベド

図 4-3-15 よりこの時期のエアロゾルの化学組成を見てみると、4 月 11 日～16 日にかけて黒色純炭素、有機物、硫酸イオンおよび土壌粒子量が大きく増加している。一方、4 月 10 日(実際の捕集時間は 10 日の午前 11 時～11 日の午前 10 時)には、硫酸イオンのみが他の場合と比べて大きく増加している。すなわち 10 日の午後～11 日の午前中のエアロゾルは、硫酸イオンを多量に含む透明なエアロゾルであったことがわかる。流跡線解析を行った結果、この多量の硫酸エアロゾルは、三宅島の男山の噴火により排出されたものが、たまたま奄美大島に輸送されて来たものであることがわかった。そのため、エアロゾルはほぼ透明で、単一散乱アルベドが 0.99 にまで増加したものであると思われる。一方、11 日の午後以降は、流跡線解析によると中国大陆から多量のエアロゾルが輸送されてきている。奄美で測定された SO₂ 濃度が 4 月 11 日は非常に高かった (図 4-13-18)

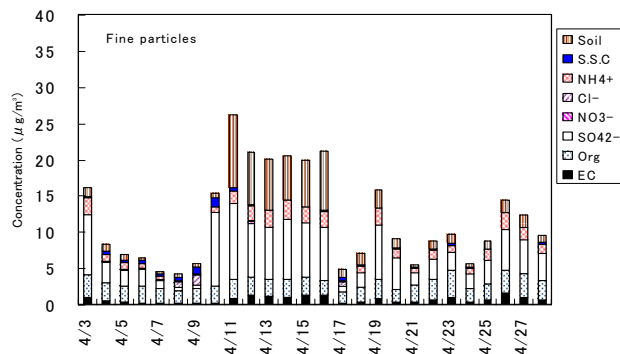


図 4-3-15. 2001 年 4 月の奄美大島における微小粒子の化学組成

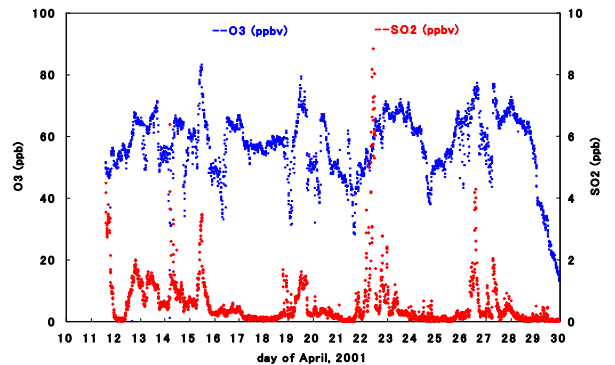


図 4-3-16 奄美大島での SO₂(赤)と O₃(青)濃度 (2001.4.11-29)

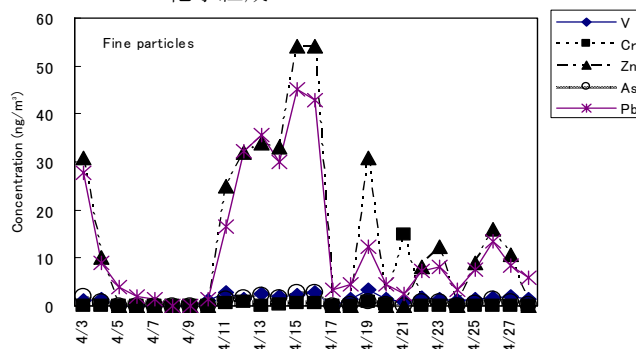


図 4-3-17. 2001 年 4 月の奄美大島における微小粒子の金属成分濃度

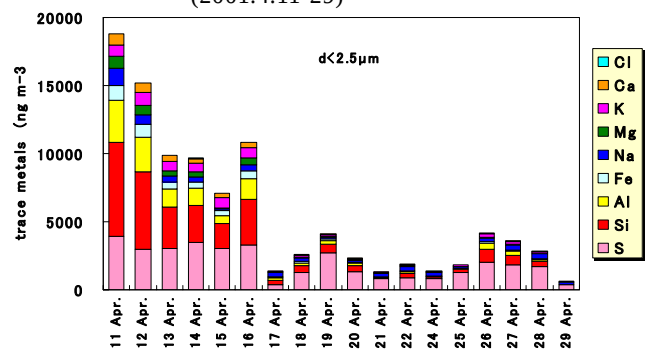


図 4-3-18 奄美大島での主要な微量元素濃度 (2001.4.11-29)

ことは、これを裏付けている。

図 4-3-17 より、微小粒子に含まれる金属成分濃度を見てみると、4 月 11 日～16 日の

エアロゾルには特に亜鉛と鉛が多量に含まれている。これらは、廃棄物燃焼や鉄鋼業などにより排出される大気汚染微粒子である。また、微小粒子中の Si、Al、Fe などの土壌の主要構成元素は、黄砂が飛来した 4 月 11 日 16 日に非常に高濃度であった(図 4-3-18)。これらのことから、11 日の午後から 16 日までに中国大陸から輸送されてきたエアロゾルは、黄砂粒子の他に、煤などの大気汚染微粒子をも多量に含んでおり、その結果、黒いエアロゾルとなり、微小粒子領域の単一散乱アルベドが 0.75~0.85 に低下したものである。

3.2.3 福江島における 2003 年 3 月 17 日～4 月 14 日の観測

図 4-3-19～4-3-31 に、福江島における 2003 年 3 月 17 日から 4 月 14 日までの観測結果を示す。図 4-3-19 に、微小粒子の散乱係数、吸収係数および単一散乱アルベドの測定結果を示す。特に 3 月 25～26 日に散乱係数が $2.5 \times 10^{-1} \text{ m}^{-1}$ にまで増加しており、その他に、3 月 27 日、4 月 8 日、4 月 11～14 日に散乱係数が $1.0 \sim 1.3 \times 10^{-1} \text{ m}^{-1}$ にまで増加している。ただし、2 年前の 3 月末(図 4-3-12) に比べると、最も高い場合でも約半分の濃度であった。また、微小粒子の単一散乱アルベドは 0.80~0.90 の値を示した。

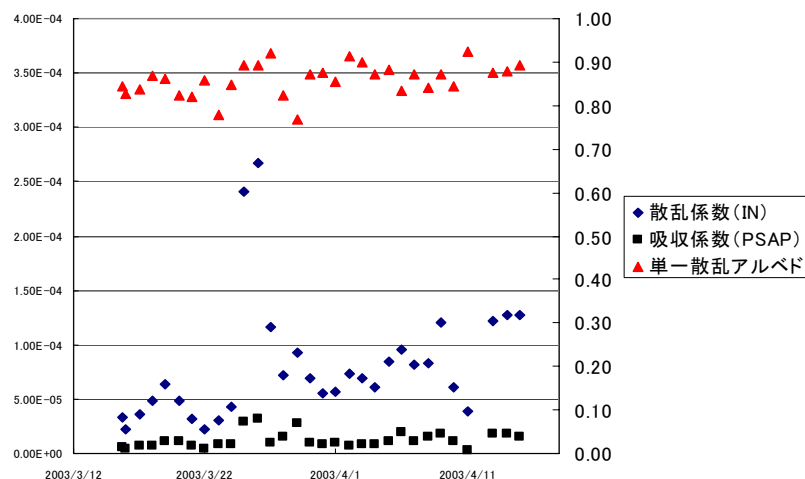


図 4-3-19. 2003 年 3～4 月の福江島における微小粒子の散乱・吸収係数と単一散乱アルベド

図 4-3-20 に、エアロゾルの炭素成分濃度を示す。散乱係数の大きかった 3 月 24～26 日、4 月 5～6 日、4 月 13～14 日に黒色純炭素(EC)の濃度が増加しており、その結果、図 4-3-17 より、これらの日に吸収係数が増加している。

図 4-3-21 にエアロゾルのイオン成分濃度を示す。特に 3 月 24～26 日、4 月 8 日、4 月 12～14 日に、硫酸イオンとアンモニウムイオンが高濃度を示している。この結果、特に 3 月 25～26 日に散乱係数が高い値を示し、またエアロゾルが透明に近いものとなって、単一散乱アルベドが 0.90 に増加したものである。

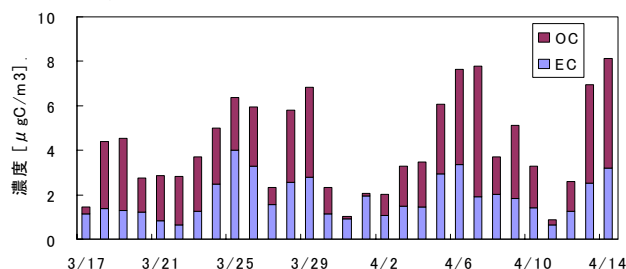


図 4-3-20. 2003 年 3～4 月の福江島における微小粒子の炭素成分濃度

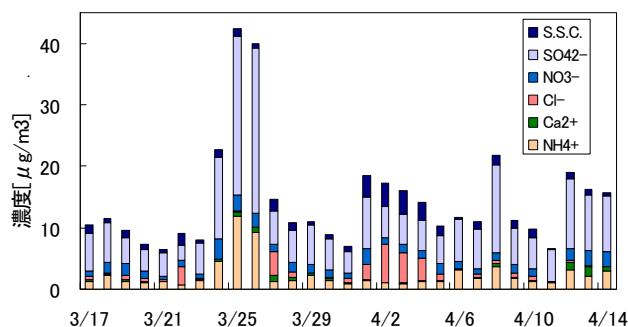


図 4-3-21. 2003 年 3～4 月の福江島における微小粒子のイオン成分濃度

3.2.4 奄美大島における 2003 年 3 月 15 日～4 月 16 日 (E3) の観測

E3 調査期間中、エアロゾルの重量濃度が高くなったときは 4 回あり (図 4-3-22)、その時の大気塊は、後方流跡線解析 (図 4-3-23) によれば、中国北部から黄海/東シナ海上を、奄美に輸送された。微小粒子と粗大粒子中のエアロゾルの化学組成の経日変化 (図 4-3-24a, b) から、大都市/工業地帯の大気汚染物質が土壌粒子よりも高濃度のとき (P1、P2、P3) と、主に土壌粒子 (黄砂飛来時の P4) が高濃度のときが存在した。微小粒子中では、EC、OC、硫酸アンモニウム $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ 、また、 SO_2 と O_3 濃度が高かった。一方、粗大粒子では、常に海塩粒子と土壌粒子が主で、P4 の黄砂時には土壌粒子の割合が増加した。なお、硝酸塩濃度は、粗大粒子中で常に高かった。

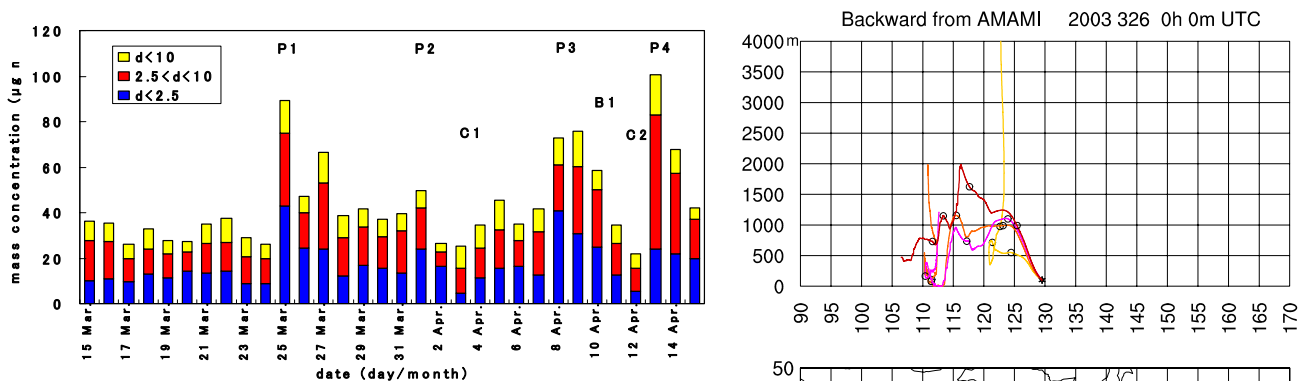
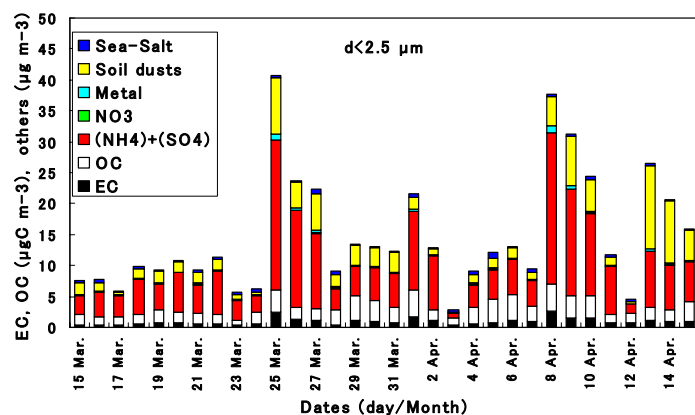
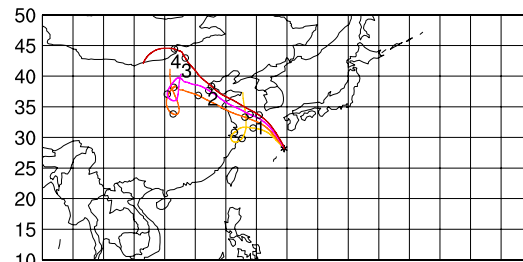


図 4-3-22 奄美大島における粒径別のエアロゾル重量濃度の経日変化 (2003 年 3 月 15 日～4 月 15 日) P1,P2,P3,P4 が高濃度時期



(a) 微小粒子



(a) 2003 年 3 月 25 日

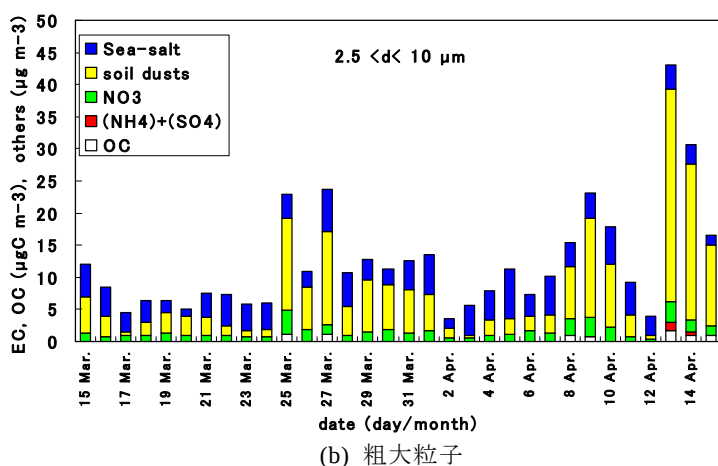


図 4-3-24 微小粒子と粗大粒子の化学組成とその経日変化

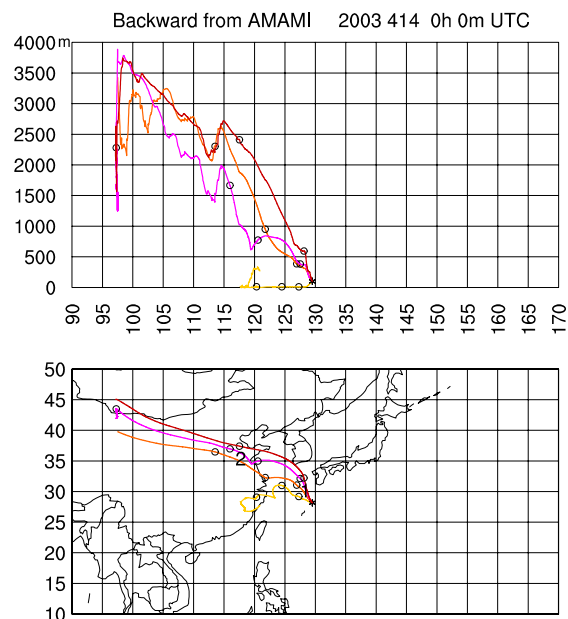


図 4-3-23 奄美大島に到達した大気塊の輸送経路

3.2.4.1 エアロゾル中の化学物質の特徴

- (1) EC と OC、EC と SO₄ との間には強い正の相関がみられたので(図 4-3-25 と図 4-3-26)、これらの物質は、同じ発生源地域から輸送されたと推測された。
- (2) 粗大粒子と微小粒子中の各微量元素の散布図(図 4-3-27) から、これらの微量元素は、2つのグループに大別された。
- (3) 汚染起源元素：亜鉛(Zn)と鉛(Pb)は、P1、P2、P3 の汚染気塊中で高濃度であり、中国北部の大気汚染物質の指標であった(図 4-3-27)。
- (4) 土壌構成主要元素：土壌の主要構成元素である、Si、Al、Fe の重量組成比は、黄砂が観測された日であろうとなかろうと、ほとんど一定であり、そのようなエアロゾルが常に奄美の大気中に存在していたことが明らかになった(図 4-3-29、4-3-30)。

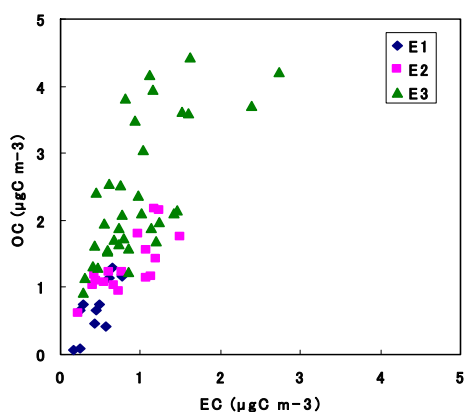


図 4-3-25 微小粒子中の EC と OC の散布図
(E1,E2,E3 期間)

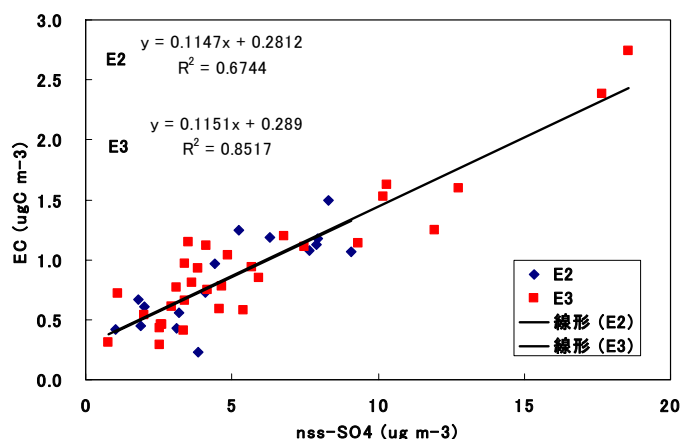


図 4-3-26 微小粒子中の EC と非海塩起源 SO₄ の散布図

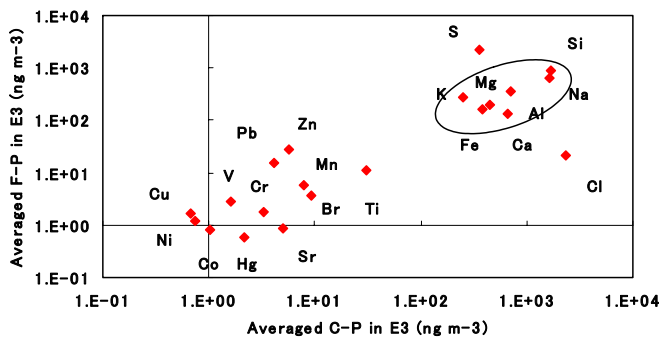


図 4-3-27 粗大粒子(C)と微小粒子(F)中の微量元素の散布図

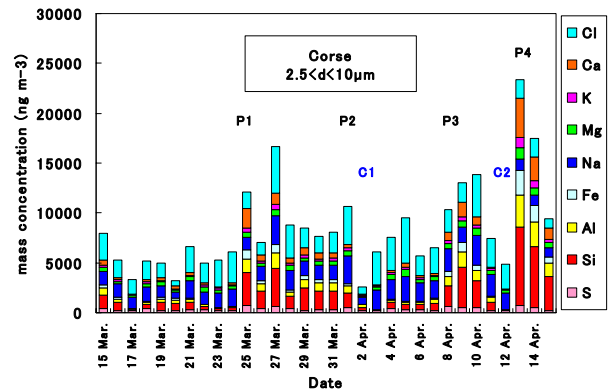


図 4-3-29 粗大粒子中の微量元素の経日変化

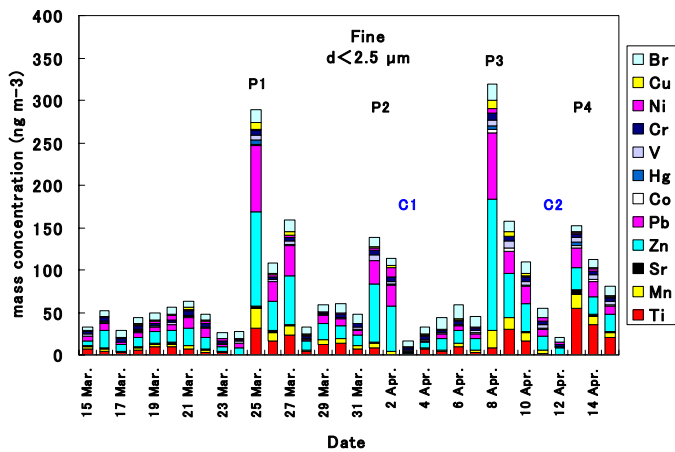


図 4-3-28 微小粒子中の微量元素の経日変化

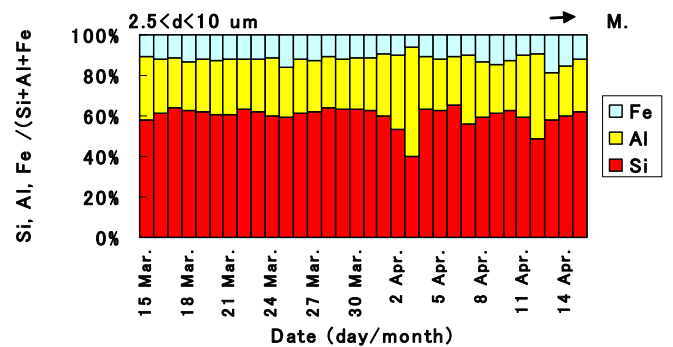


図 4-3-30 Si, Al, Fe の重量濃度の比の経日変化

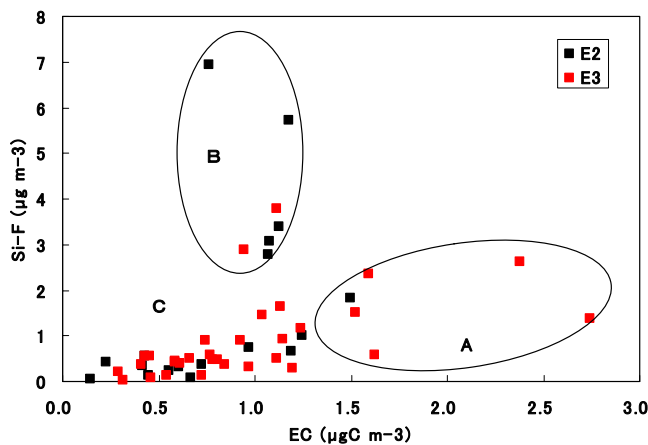


図 4-3-31 微小粒子中の Si と EC の散布図

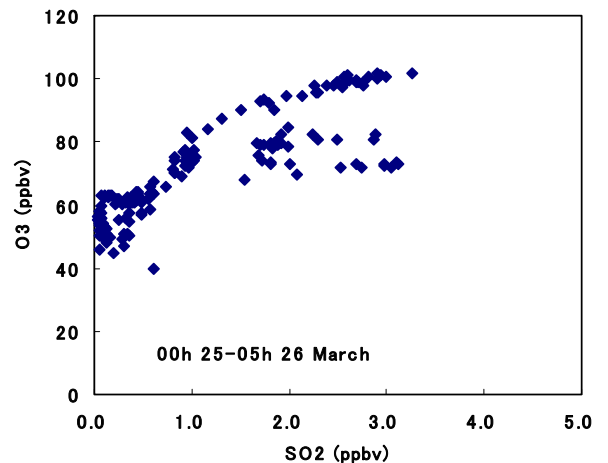


図 4-3-32 SO2 と O3 濃度の散布図(3月25日)

(5) 土壌粒子と EC とは、通常は正の相関がみられたが、黄砂時には、土壌粒子が卓越したことがわかった (図 4-3-31)。

(6) P1 時に、奄美に到達した汚染気塊中では、SO₂ と O₃ 濃度が平常より増加しており、中国北部の汚染地域で排出された SO₂ は SO₄ に全部は変化せずに残っており、また汚染気塊中で光化学反応により、O₃ が生成された。

3.2.4.2 風系別濃度と発生源地域

全測定期間中で、奄美大島に到達した気塊が来た風系を後方流跡線解析により4つに分けて（図4-3-33）、各風系別に主な化学物質の平均濃度を求めた（図4-3-34）。その結果、中国北部から到達した気塊中で、EC、SO₄、および、Si、Al、Ti、Zn、Pbなどが他の地域よりも高く、大気汚染物質および土壌粒子ともに、中国北部およびその内陸部に大きな発生源があることがわかった。一方、海塩粒子は、どの方向からも同じ濃度であった。

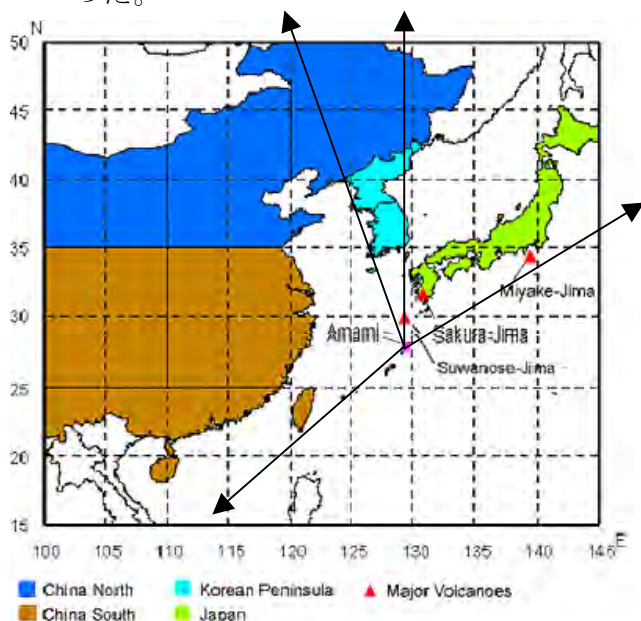


図4-3-33 奄美に到達した気塊の4風系の区分

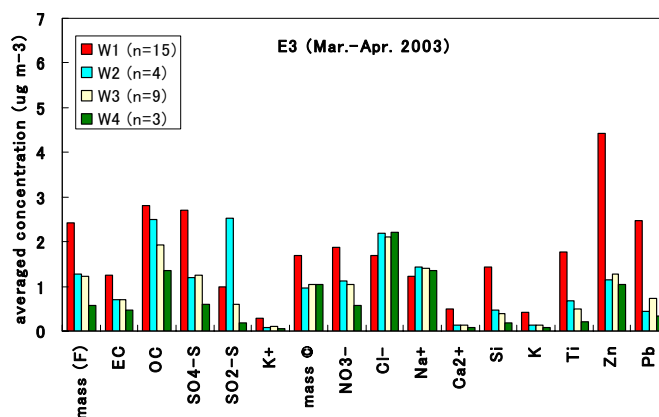


図4-3-34 4風系別の化学物質の平均濃度
W1：中国大陸、W2：朝鮮半島
W3：日本列島、W4：太平洋

3.2.4.2 化学組成から求めた SSA

奄美大島で測定された粒径別の化学組成濃度から、光学的なモデルを用いて、微小粒子と粗大粒子およびそれら全体の単一散乱アルベド (SSA) を求めた（図4-3-35）。粗大粒子による SSA は、土壌粒子が増大した黄砂時期に小さくなったが、全体の SSA は、濃度の高い微小粒子に大きく依存していることが、わかった。

3.2.4.3 化学組成モデルと地上観測から求めた SSA の比較

化学組成から求めた SSA と、地上で光学機器（ネフェロメータ (IN) と PSAP) で測定された散乱係数と吸収係数とから計算された SSA とを、比較したところ、経日変化の傾向は一致したが、絶対値は化学組成から求めた SSA のほうが 0.05~0.15 ほど大きかった（図4-3-35）。

Half internal mixture (Sea salt = Sea salt + NO₃⁻)

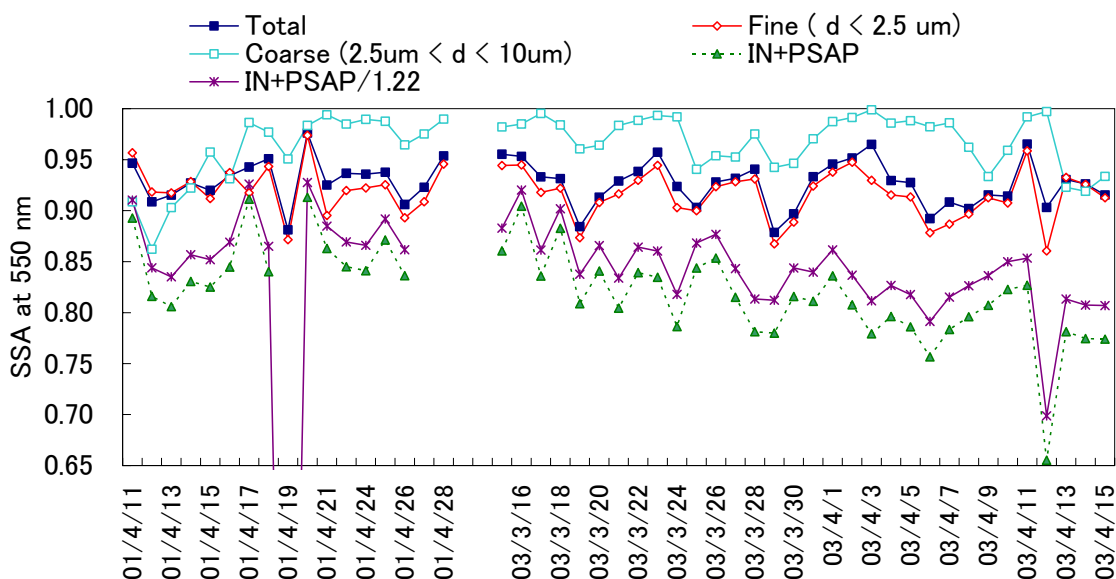


図 4-3-35 化学組成から求めた SSA (青のデータ) と光学機器で測定した SSA (緑と紫のデータ) との比較

4. まとめ

福江島および奄美大島においては、春季にしばしば非常に高濃度のエアロゾルに覆われる。これまでこの春季の高濃度エアロゾルは、黄砂の飛来だけによりもたらされるものと考えられていたが、今回の観測により、黄砂粒子だけではなく、煤や硫酸粒子、金属粒子などの人為起源エアロゾルもまた同時に多量に輸送されてきていることがわかった。さらに、その結果、この時期の微小粒子領域でのエアロゾルの単一散乱アルベドは、0.80~0.90 と、かなり低下していることがわかった。また、化学組成から求めた単一散乱アルベドと光学機器を用いて測定された単一散乱アルベドとを比較したところ、傾向は一致したが、絶対値は、後者のほうが小さかった。

参考文献：

Countes, R.J., Wolff, G.T. and Cadle, S.H. (1980) : The Denver winter aerosol: A comprehensive chemical characterization. Journal of the Air Pollution Control Association, Vol.30, No.11, 1194-1200.

加藤 亮：東シナ海大気エアロゾルの光学・化学特性観測，平成13年度修士論文，北海道大学大学院工学研究科環境資源工学専攻，平成14年3月

Mason, B. 著，松井義人・一国雅巳 訳 (1970)：一般地球化学，岩波書店

4. 4 航空機観測

(1) 序

APEX(Asian Atmospheric Particle Environmental Change Studies)における、主な目的は、雲とエアロゾルの相互作用について理解することと、それらを記述するモデルを開発することである。このプロジェクトにおいて、我々は、航空機観測システムを構築し、3回の集中観測を実施した。航空機観測の目的は、以下の通りである。

- ・東アジア域において、エアロゾル前駆物質、エアロゾルや雲の物理・化学特性を測定する。
- ・エアロゾル、雲、放射場の間の関係を明らかにする。
- ・衛星リモートセンシングや輸送モデル等の数値モデルのための検証データを取得する。
- ・上記の目的達成のための航空機観測システムを構築する。

APEX-E1集中観測は、2000年12月に、ACE-Asia（2001年3,4月実施）に先だって、予行的観測として、奄美大島空港と鹿児島空港を観測基地として行った。この集中観測では、2機の航空機を使用した。一機は、Cessna Titan C404、もう一機はBeachcraft Super King Air B200である。両機とも中日本航空株式会社所有の航空機である。

2001年4月に、APEX-E2/ACE-Asia集中観測として、APEXグループとオーストラリア（CSIROとARA: Airborne Research Australia）グループとの共同観測で、鹿児島空港を観測基地にして観測を実施した。この観測では、ARAのBeachcraft Super King Air B200が使用された。

APEX-E3は、2003年3,4月に、APEX、ADEOS-II/GLI検証観測、Earth CARE検証観測、ADECプロジェクトなど多数の研究プロジェクトの共同観測として、鹿児島空港を基地にして集中観測が実施された。この集中観測では、APEX-E1と同様に、Cessna Titan C404、Beachcraft Super King Air B200を使い、更に、Gulf stream II（ダイヤモンドエアーサービス所有）が使用された。

取得されたエアロゾル、雲粒子に関係したデータ、大気の大気熱力学的状態、風向・風速のデータのなかには、測器が正常に動作せず十分な精度が無いデータもあるが、すべてのデータはCCSRに送付されており、APEXに参加している者は誰でも使うことが可能である。

当初計画した航空機によるエアロゾル、雲物理量と放射場の複数の航空機を用いた同期飛行測定は、航空機観測を行って行く中で、航空機によるエアロゾル、雲物理量の測定と衛星による放射場の測定と衛星との同期飛行で行うことになり、航空機観測の役割は、衛星リモートセンシングの検証観測、航空機搭載アクティブセンサー（ミリ波ライダー、ライダー）の検証観測、エアロゾル輸送モデルはじめとする各種数値モデルの検証観測となった。

ここでは、これらのデータ利用のために各集中観測における搭載機器、飛行記録について簡単にまとめる。また、当初の目的でデータを取得した、JACCSの航空機観測のデータの解析を、JACCSプロジェクト終了後、APEXに参加した東北大グループと気象研究所グループで行った結果の一部を報告する。

(2) APEX-E1, E2, E3航空機観測概要

ACE-Asia予備観測として実施されたAPEX-E1の搭載機器をTable 1 に示す。APEX-E1

では、気象研究所が開発した航空機による雲・放射観測システムであるACROS（Airborne Cloud and Radiation Observation System）を母体に機器の搭載を決定した。ACROSは、B200に雲、エアロゾル測定プローブ、大気状態を測定する機器を搭載し、C404とB200の同期飛行により雲層の放射収支を測定することを目的にした観測システムである。ACROSに倣い、B200には、雲、エアロゾル粒子プローブを取り付け、放射フラックスを測定するために、機体の上下に日射計、赤外放射を取り付けた。C404には、雲凝結核、エアロゾル、SO₂を測定する装置と、機体の上下に日射計、赤外放射を取り付けた。搭載重量の制限、搭載スペースの制限、使用可能電源容量の制限のため、エアロゾル前駆物質としてのガスは、SO₂のみとなった。また、エアロゾルサンプリングのためのハイボリュウムサンプラー等は搭載できなかった。

APEX-E1では、5回の層積雲を対象とした観測飛行がなされた。このうち、2回の飛行は奄美大島の近海で行った。2000年12月は、大陸からの吹き出しが弱く、奄美大島近海での観

測機会は期待できないと判断されたため、計画を変更し、鹿児島空港に観測基地を移して観測を継続し、3回の観測飛行を行った。

APEX-E2では、オーストラリアグループと共同観測を行った。この集中観測では、ARAの航空機観測システムを母体に気象研究所、名古屋大学グループの測器を搭載した。ARAのB200は、NCAR所有のものを買い取ったものであり、雲、エアロゾル粒子プローブが4本、風向・風速、大気の熱力学的状態の測定プローブが搭載可能になっている航空機であった。名古屋大学グループは、低過飽和度のCCNカウンターとSO₂計を搭載した。気象研グループは、DMT-CAPSと雲分光日射計を搭載した。APEX-E2/ACE-Asiaでは、1機だけの飛行であるため、放射場と雲物理量等の同期飛行はできなくなった。また、放射場測定がフラックスの測定だけであるため、放射の測定は衛星で行う方向となった。

Instrumentation of C404 for APEX-E1		
Quantity measured	Instrument	Characteristics
(Radiation)		
Upward/downward solar flux	Pyanometer EKO MS-801	305 < λ < 2800nm
Upward/downward near IR flux	Pyanometer EKO MS-801	715 < λ < 2800nm
(Cloud and aerosol)		
Cloud condensation nucleus	MEE ????	
Cloud condensation nucleus	Nagoya University自主製作	
Aerosol size spectrum	TSI 3025A	0.003 μ m < D < 3 μ m
(Gas)		
SO ₂	Thermo Electron Nippon 43S	
(Thermodynamics)		
Total air temperature	Rosemount 102 thermometer	-50 < T < 150 C
Humidity(dew point temperature)	General Eastern Instrument 1011A	-75 < Td < 50 C
Static/Differential pressure	Nagoya University自主製作	
(Others)		
Position (latitude, longitude)	GPS Trimble TNL-1000	
Instrumentation of B200 for APEX-E1		
Quantity measured	Instrument	Characteristics
(Radiation)		
Upward/downward solar flux	Pyranometer CM-21(Kipp&Zonen)	305 < λ < 2800nm
Upward/downward near IR flux	Pyranometer CM-21(Kipp&Zonen)	715 < λ < 2800nm
Upward/downward spectral flux	Multi-channel Cloud Pyranometer MCP-II (Prede)	λ =500, 760, 862, 932, 1225, 1650nm
Upward/downward Infrared flux	Pyrgometer Eppley PIR	4 μ m < λ < 50 μ m
Nadir microwave radiance	Radiometric WVR-1100	23.8GHz, 31.4GHz
Nadir infrared radiance	Barnes IT-4	9.5 μ m < λ < 11.5 μ m
(Cloud and aerosol)		
Cloud particle size spectrum	DMT CAPS	
	CAS	1 μ m - 50 μ m
	CIP	25 μ m - 1.55mm
Cloud liquid water content	PMS KLWC-5	0 - 5g/m ³
Effective particle radius, LWC	Gerber PVM-100A	
Aerosol size spectrum	PMS PCASP	0.1 μ m < D < 3 μ m
Scattering extinction coefficient	TSI 3563	λ =450, 550, 700 nm
Scattering extinction coefficient	Radiance Research M903	λ =530nm
Absorption extinction coefficient	Radiance Research PSAP	λ =565nm
(Thermodynamics)		
Total air temperature	Rosemount 102 thermometer	-50 < T < 150 C
Humidity		
dew point temperature	EG&G 137-C3 hygrometer	-65 < Td < 25C
water vapor absorption	AIR Lyman- α hygrometer	λ =122nm, -80<Td<50C
3D wind field	Rosemount 858AJ gust probe Rosemount 1221 pressure transducer POS/AV ApplAnix POS/DG310	
(Others)		
Cloud morphology	Video Camera system	forward/downward looking

Table 1 APEX-E1 搭載機器

APEX-E2/ACE-Asiaでは、5つのタイプの観測飛行を行った。それらは、層積雲観測（4飛行）、積雲life-cycle（1飛行）、前線観測（前線の前面、後面で測定）、エアロゾル特性観測（2飛行）、他の観測プラットフォームとの相互比較（2飛行）、試験・検定観測（3飛行）である。

APEX-E3は、多数のプロジェクトが参加の共同観測として実施された。B200に搭載の機器をTable 2にまとめた（C404搭載機器は、後述の節を参照せよ）。Gulf stream IIには、アクティブセンサー（ミリ波レーダー、ライダー）が搭載された。

APEX-E3では、Earth CARE検証観測を目的に氷雲の観測を行うため、GKSSのPMS-2DP、PMS-2DCプローブ、氷・水量計であるNevsorpプローブを搭載して観測を行った。B200は、与圧されておらず、本来、水雲を対象とした観測システムであったため、高度6kmを超える高度での飛行は相当の負荷がかかり、収録システムの動作不良の原因となった。また、GKSSは、PMS-FSSP、PMS-2DCプローブを検定する機器を観測基地に持ち込んでおり、常時、検定が行える状況であった。DMT-CAPS(CIP)も、GKSSの検定装置でチェックしたが、地上のチェックでは特に問題は認められなかった。DMT-CAPSは、APEX-E3の本観測に備えて、気象研究所の独自の予算で2002年11月に予備観測、再調整を行ったが必ずしも精度の良いデータを取れなかった。気象研グループでは、ADEC（風送ダストプロジェクト）で使用している3波長ネフェロメーターを搭載して散乱係数の測定を試みたが、2003年3,4月は、ダスト飛来がほとんど無く、一度のみしか観測できなかった。

APEX-E3では、4つのタイプの観測飛行を行った。雲の微物理量観測を9飛行、晴天積雲観測を1飛行、晴天観測を3飛行、試験・検定飛行を4飛行行った。雲の微物理量観測のうち6飛行観測が、Gulf stream IIとの同期飛行であり、Earth CARE検証実験観測であった。また、雲の微物理量観測のうち2観測飛行が、ADEOS-IIと同期したADEOS-I/GLIリモートセンシング検証実験観測であった。晴天観測のうち1飛行は、ダストの観測飛行であった。APEX-E3のほとんどすべての観測飛行は、ADEOS-II,TERRA,AQUA,NOAA-16,NOAA-17のどれかに同期した観測であった。

航空機観測の成果は、検証用のデータとして、春季の東アジア域でエアロゾル、雲の物理量のデータを蓄積できたことである。図1にAPEX-E2で、PMS-ASASP,PMS-FSSP、DMT-CAPS,PMS-2DCで測定された、 $0.065\mu\text{m}$ ～ $800\mu\text{m}$ の粒径のサイズスペクトルの一例を示す。自由対流圏（dry case）では、PMS-ASASP,DMT-CAPS(CAS)によって測定された粒径スペクトルはよく一致し

Quantity measured	Instrument	Characteristics
(Radiation)		
Upward/downward solar flux	Pyranometer CM-21 (Kipp&Zonen)	$305 < \lambda < 2800\text{nm}$
Upward/downward near IR flux	Pyranometer CM-21 (Kipp&Zonen)	$715 < \lambda < 2800\text{nm}$
Upward/downward spectral flux	Multi-channel Cloud Pyranometer	$\lambda=500, 760, 862, 932, 1225, 1650\text{nm}$
	MCP-II (Prede)	
Upward/downward Infrared flux	Pyrgometer Eppley PIR	$4\mu\text{m} < \lambda < 50\mu\text{m}$
Nadir microwave radiance	Radiometric WVR-1100	23.8GHz, 31.4GHz
Nadir infrared radiance	Barnes IT-4	$9.5\mu\text{m} < \lambda < 11.5\mu\text{m}$
Narrow FOV radiometer	POM-02NV (Prede)	$\lambda=380, 500, 760, 870, 940, 1225, 1600, 2200\text{nm}$
(Cloud and aerosol)		
Cloud particle size spectrum	DMT CAPS-CAS	$0.3\mu\text{m} - 50\mu\text{m}$
	CAPS-CIP	$25\mu\text{m} - 1.55\text{mm}$
	PMS FSSP	$5\mu\text{m} - 100\mu\text{m}$
	2DP	$??\mu\text{m} - ??\text{mm}$
	2DC	$25\mu\text{m} - 800\mu\text{m}$
Cloud liquid water content	PMS KLWC-5	$0 - 5\text{g/m}^3$
Effective particle radius, LWC	Gerber PVM-100A	
Aerosol size spectrum	PMS PCASP	$0.1\mu\text{m} < D < 3\mu\text{m}$
Scattering extinction coefficient	TSI 3563	$\lambda=450, 550, 700\text{nm}$
Scattering extinction coefficient	Radiance Research M903	$\lambda=530\text{nm}$
Absorption extinction coefficient	Radiance Research PSAP	$\lambda=565\text{nm}$
(Gas)		
SO2	Thermo Electron Nippon 43S	
(Thermodynamics)		
Total air temperature	Rosemount 102 thermometer	$-50 < T < 150\text{C}$
Humidity		
dew point temperature	EG&G 137-C3 hygrometer	$-65 < T_d < 25\text{C}$
water vapor absorption	AIR Lyman- α hygrometer	$\lambda=122\text{nm}, -80 < T_d < 50\text{C}$
3D wind field	Rosemount 858AJ gust probe	
	Rosemount 1221 pressure transducer	
	POS/AV ApplAnix POS/DG310	
(Others)		
Cloud morphology	Video Camera system	forward/downward looking

Table 2 APEX-E3 で B200 に搭載された機器

ている。雲層内では、DMT-CAPS(CAS)とPMS-FSSPによって測定された粒径スペクトルはよく一致している。しかし、PMS-ASASPとDMT-CAPS(CAS)によって測定された粒径分布は、差がある。雲層の下では、PMS-ASASPとDMT-CAPS(CAS)によって測定された粒径スペクトルには差がある。これらの差は、PMS-ASASPが空気を引き込み測定しているため、採取空気が昇温して相対湿度が下がったためと考えられる。このように、データの使用には注意を要するが、概ね良好にデータが取れており他の課題での有効利用が期待できる。

Size spectrum

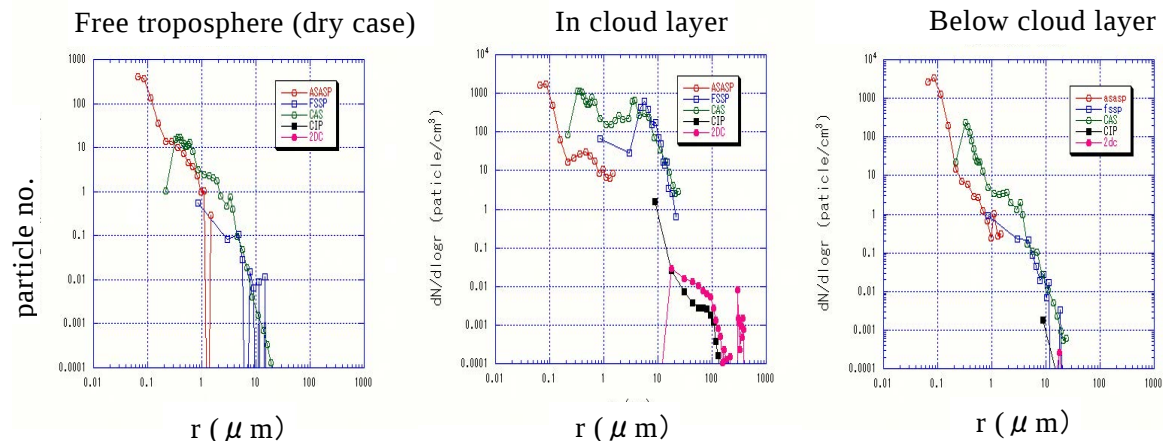


図1 APEX-E2で観測されたエアロゾル・雲の粒径スペクトル

(3) エアロゾル、雲と放射特性について

内山明博*、浅野正二**、山崎明宏*、戸川裕樹*、浅野準一*

(*：気象庁気象研究所，**：東北大学)

放射場と雲やエアロゾルの関係は、衛星からのリモートセンシングによって推定された諸量との対応を調べることによって可能であり、航空機観測は検証データを提供するという役割がある。このような解析に基づく結果は、衛星グループ、能動型リモートセンシンググループによってなされた。

一方、航空機自身で放射場、雲・エアロゾルの特性観測を同期させてデータを取り解析するという方法がある。気象研究所では、1992年から2000年にかけて実施した「雲が地球温暖化に及ぼす影響解明に関する観測研究(JACCS)」(科学技術庁、海地費)において、航空機観測を行い雲の特性と放射場の同期観測を実施した。その時取得したデータの解析をJACCS終了後、APEXで一部引き継ぎ、行った。その結果の一部について示す。

1999年1月21日に、九州の西方海上で寒気の吹き出しに伴う層積雲を、C404とB200で観測した。このときの雲画像を図1に、2機の航空機の航跡を図2に示した。図2(B)から分かるように、2機の航空機は雲の上下を、時間的にも空間的にも一致させて飛行した。観測は、太陽高度の変化の少ない12:30~12:55の間に行われた。観測した雲は、雲頂高度が1.5km、雲底高度が1.0km、厚さ約500mであり、雲頂温度が、雲底温度がそれぞれ、 -6°C 、 -2.5°C である過冷却の水雲である。このとき、雲底下のエアロゾル濃度は、 $700\sim 1000\text{cm}^{-3}$ でかなり高く、雲粒も $500\sim 900\text{cm}^{-3}$ とかなり

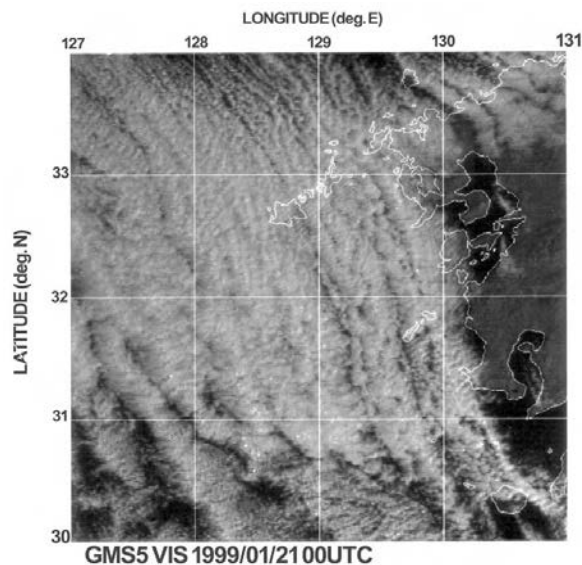


図2 1999年1月21のGMS可視画像
九州西方の寒気の吹き出しに伴う層積

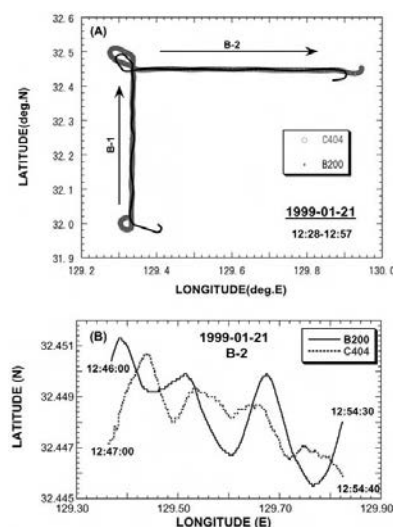


図3 1999年1月21のC404とB200の
航跡図

高い濃度であり、海上にできた層積雲であるが、大陸性の特徴を持つ雲であった。この雲は降水を伴っていなかった。

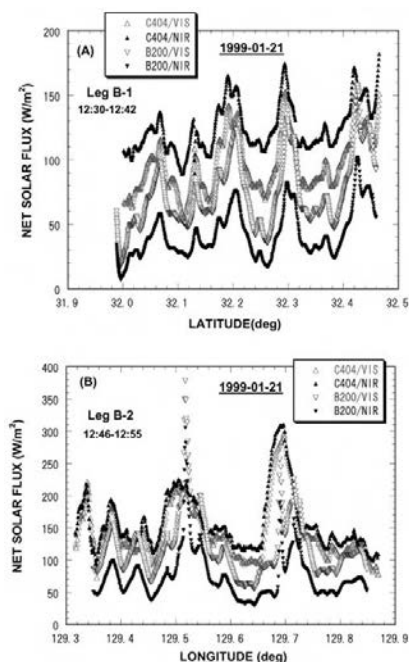


図3 C404（雲の上）とB200（雲の下）で測定された可視域と近赤外域の正味フラックス (A)はLeg B1, (B)はLeg B2の結果

Absorption			
Leg	Total	Near-IR	Visible
B-1 S to N	0.133	0.206	0.058
B-2 W to E	0.144 (0.134)	0.217 (0.201)	0.071 (0.067)
Mean	0.138 (0.133)	0.211 (0.203)	0.065 (0.063)

Table 3 測定された吸収率のまとめ
括弧の中の値は、変動が大きい部分を除いた値である。

そのときの各飛行高度での可視域（715nm以下）と近赤外域（715nm以上）での正味フラックスの空間分布を、図3に示した。図3(A)は、Leg B1の結果、図3(B)は、Leg B2の結果である。Leg B2には、雲の小さな切れ目があり大きく変動しているところがあるが、C404とB200で、可視域の正味フラックスの差が70～80W/m²に達する大きな差がある。通常、海上にできる海洋性の層積雲の

場合、可視域ではほとんど吸収が無く（Asano et al. 2000）、両者は、観測誤差内で変動しているのに比べ、明らかに吸収があることを示している。Leg B1,B2について、平均した吸収率をTable 3にまとめた。

可視域では純粋な水や氷では、このような大きな吸収を示すことはないので、この吸収はエアロゾルによるものであろうと推測される。前述のように、雲底下のエアロゾル濃度は、かなり高く、雲粒濃度もかなり高いことより、雲底下にあったエアロゾルの多くが雲核として働き、水溶性の物は雲粒の中に溶け込んでいるか、非水溶性のものは周りに水を付けた形でなっていると推測される。

ここでは、多波長雲分光日射計(MCP)のデータを解析し、single scattering albedoの波長依存を推定し、その波長依存を説明するためにいろいろな雲粒子モデルを用いてどのような雲粒子モデルが適当か推定した。図4にその結果を示した。1.2 μm 以下ではsingle scattering albedoの波長依存は比較的小さく、そのような分布は、ダストの周りに水溶性エアロゾルが解けた溶液が付いている場合、すなわち、

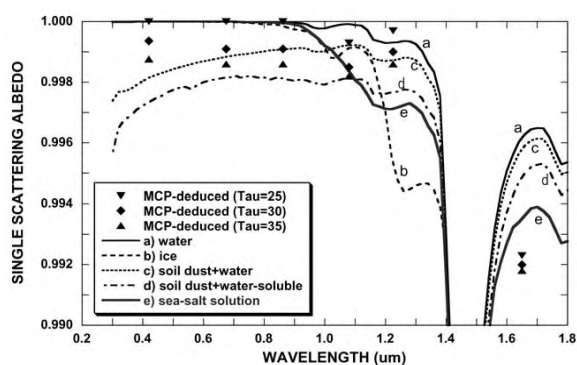


図4 Leg B1で観測した雲に対する。光学的厚さを 30 ± 5 を仮定して推定した single scattering albedo の波長依存(▲, ◆, ▼)と以下の粒子を仮定して計算した値、a) 水、b) 氷、c) ダスト(半径 $0.5 \mu\text{m}$)の周りに水、d) ダストの周りに(半径 $0.5 \mu\text{m}$)に0.1%の水溶性エアロゾルを含んだ水、e) 1%の海塩を含んだ水

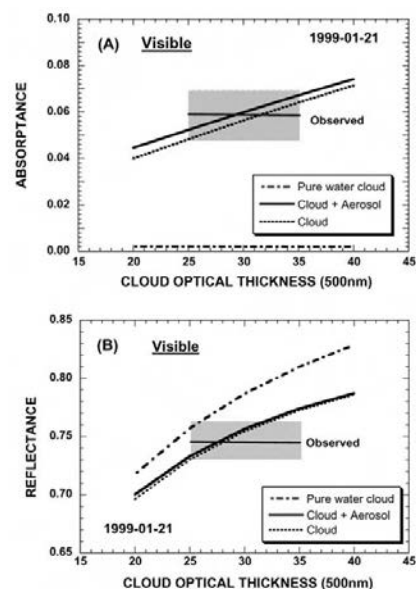


図5 可視域の吸収率と反射率の測定値と観測値の比較

計算は、純粋な水雲、図4のモデル(d)で雲の下にエアロゾル層がある場合と無い場合である。影の領域は観測値の不確定さの範囲を

エアロゾルが内部混合している場合である。また、このモデルでも、1.65 μm の小さいSSAの値は説明できず、僅かであるが氷粒子が含まれている可能性があることを示している。このようなモデルを使って観測した可視域の吸収率、反射率を計算して観測値と比べると図5のようになる。ここで影をつけた部分は、観測値の不確定さの範囲であるが、計算値は、その不確定さの範囲で一致している。

このように光吸収性のエアロゾルを内部混合している雲粒を含む雲は吸収率が高く、地球大気を暖める可能性がある。ここで使用したデータには、エアロゾルの情報は個数の情報に限られている。APEXでは、ここで示したようなclosure typeの観測

は行うことができなかったが、実際にどのようなエアロゾルが、どのような状態であったかを同時に観測する必要がある。また、雲粒内エアロゾルもどのような物があるのかも合わせて測定する必要がある。近年、Atmospheric Brown Cloud (ABC)の問題が取り上げられているが、ここで示した例も、これに対応するものである。

今後、エアロゾルの放射強制力の評価の精度を高めるためには、気候モデルにこのような過程を取りこむことにより、より正確なエアロゾルの効果を考慮した放射強制力の評価が可能になる。

(文献)

Asano S., A. Uchiyama, Y. Mano, M. Murakami, Y. Takayama, No. evidence for solar absorption anomaly by marine water clouds through collocated aircraft radiation measurements, *J. Geophys., Res.*, **105**, 14761-14775, 2000.

Asano S., A. Uchiyama, A. Yamazaki, J.-F. Gayet, M. Tanizono, Two case studies of winter continental-type water and mixed-phase stratocumuli over the sea 2. Absorption of solar radiation, *J. Geophys., Res.*, **107**, No. D21, 4570, doi:10.1029/2001JD001108, 2002.

Gayet, J.-F., S. Asano, A. Uchiyama, A. Yamazaki, A. Sinyuk, O. Jourdan, and F. Auriol, Two case studies of winter continental-type water and mixed-phase stratocumuli over the sea 1. Microphysical and optical properties, *J. Geophys., Res.*, **107**, No. D21, 4569, doi:10.1029/2001JD001106, 2002.

(4) APEX-E1 および E3 における SO₂ の航空機観測と SO₂ 計の高高度対応型への改良 畠山史郎、高見昭憲、谷本浩志 (国立環境研究所)

[1] APEX-E1 における SO₂ の航空機観測

E1 観測は 2000 年 12 月 13 日～24 日に奄美大島近海及び九州西方東シナ海上における航空機観測を中心に、地上観測、衛星観測を含めた総合観測として行われたものである。我々は粒子前駆物質として重要な SO₂ の観測を航空機上で行い、流跡線解析などと合わせて、汚染物質の輸送過程を検討した。

SO₂ の観測は中日本航空株式会社のセスナ C404 型機で行われた。観測期間の前半は奄美大島をベースに奄美大島の北西を、20 日以降は鹿児島をベースに九州の西側の東シナ海上空を飛行した。飛行場所は当日の 9 時又は 10 時に GMS の画像を元に決定し、予測モデルによる東アジアからの汚染物質の分布の推定をもとに、汚染物質の傾度が高い方向に長辺をとるような長方形の航路を飛行した。C404 では鉛直分布の測定時以外は雲底下の一定高度を飛行した。

図 1 は 12 月 15 日の奄美大島北西

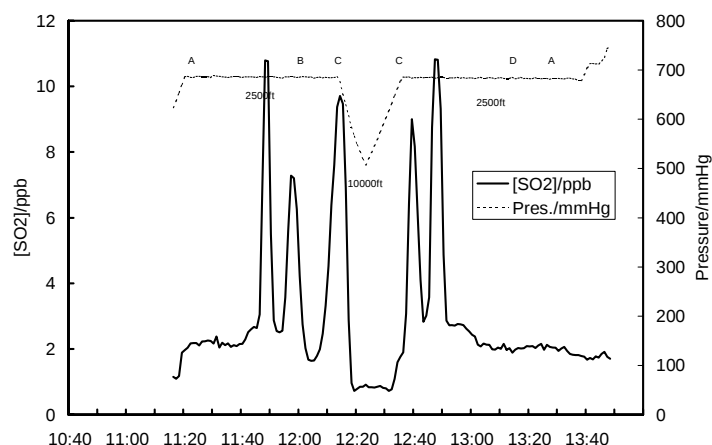


図 1 : 2000 年 12 月 15 日に観測された SO₂

沖での観測時の SO_2 濃度の変化である。高度約 800m で飛行している際に何本かの SO_2 の高濃度ピークに遭遇した。この日は九州の南西の東シナ海上空では風が巻いていて、北東風が吹いていた。観測領域の風上には諏訪之瀬島の活火山があり、ちょうどこの時期に活動していたので、この火山からのブルームを捉えたものではないかと思われる。流跡線解析の結果もこれを支持している。

12 月 23 日および 12 月 24 日には九州西方沖東シナ海上空で観測が行われたが、大陸からの汚染気塊の張り出しは少なく、 SO_2 も比較的低濃度であった。

〔2〕APEX-E3 における SO_2 の航空機観測今回の観測においては以下に述べる高高度対応型測定器が不調であったため、通常の高感度 SO_2 計 (TECO Model 43CTL) が中日本航空株式会社のビーチクラフト B200 機に搭載された。そのため 4000m 以上の高高度においては SO_2 の測定が行えなかった。4000m 以下でのデータだけを測定した間欠的な観測は別として、連続的な観測はクリアスカイ測定時にのみ行うことができた。

2003 年 3 月 22 日および 26 日にクリアスカイ測定を行った。両日とも SO_2 の濃度は、従来の航空機観測 (Hatakeyama et al., 2001; Hatakeyama et al., 2004) で記録された高濃度汚染時 (高度 500m で 10 ppb 以上に達する) に比較すると低かった (図 2, 3)。

3 月 22 日には図 2 に示すように SO_2 は高高度(2,500m)においての方が低高度(500m)においてよりも高かった。これは通常見られない濃度分布である。図 4 に見られるように、低高度(500m および 1,500

m)における気塊は海洋上空を 2 日以上漂っていた。このためかなりの SO_2 が酸化反応や沈着によって除去されていたものと考えられる。これに対して 2,500m 似合った気塊は中国の東部から短時間に輸送されてきている。このため上空で SO_2 の濃度が高い状況が現

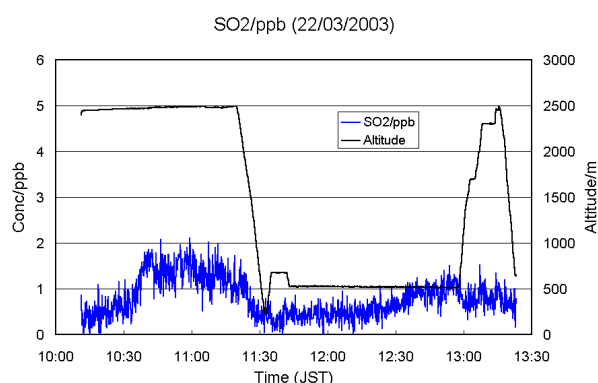


図 2 : 2003 年 3 月 22 日に観測された SO_2

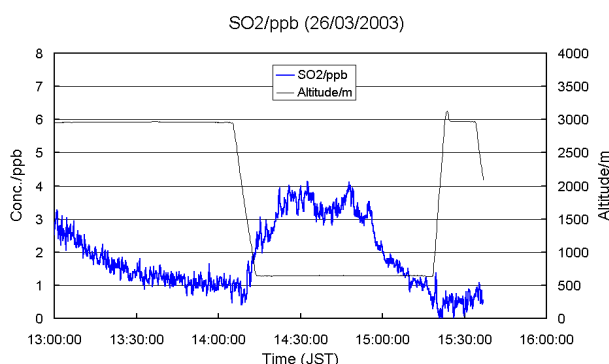


図 3 : 2003 年 3 月 26 日に観測された SO_2

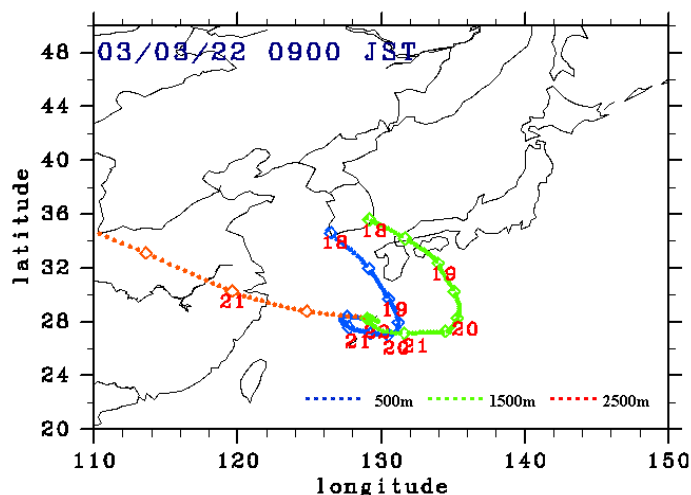


図 4 : 2003 年 3 月 22 日午前 9 時に奄美大島近辺で捉えられた気塊の後方流跡線

れたものと考えられる。3月26日には500 mでも3,000 mでも気塊は中国北部ないしは北西部から輸送されてきていた。

〔3〕SO₂計の高高度対応型への改良

市販のパルス蛍光式SO₂計は3,000m以上の高々度では十分な感度が得られなかった。これは付属するポンプの能力が低いため、低圧下において十分な流量とセル圧が得られないことが大きな原因であった。また航空機観測時に現場での（特に観測時の）較正が困難であった。

そこで本研究では、これらの問題点を解決して、高々度での航空機観測にも対応でき、またオンサイトでの較正を可能にして、データの信頼度を上げることを目的に、SO₂計の改良を行った。主な改良点は

1. 低圧条件で大気をサンプリングできるよう、ポンプを大流量・高真空型に交換した（外付け）。セル圧：約80Torr。
2. サンプル流量をMFCで制御：900SCCM
3. 実大気のマトリックス条件でのゼロレベル決定のため、サンプルラインに5%炭酸カリウム水溶液に浸したセルロースフィルターを設置、バルブで流路を切り替えてフライト中にゼロ点を取得可能にした。
4. 実大気のマトリックス条件でのキャリブレーションのため、標準添加法によるキャリブレーション方式を採用した。（インレット付近から実大気にMFCで流量制御されたSO₂標準ガスを添加し、流量比から濃度の増分を導出しすることで感度を決定。）
5. HCキッカーにおける炭化水素の除去効率を上げるために、キッカーの外側の流路に活性炭の入ったボトルを設置し、炭化水素を選択的に除去した。
6. その他、インレット圧・セル圧・キッカーの差圧をモニターできるよう、圧力センサーを取り付けた。
7. 合計三個のエア駆動バルブを設置し、大気測定・キャリブレーション・ゼロ点チェックのための流路の切り替えを行うとともに、ゼロフィルターとHCキッカーが正常に動作しているかを確認できるようにした。

これらの改造の結果、以下のような性能が得られた。

1. 約500hPaまでの低圧条件でサンプリング可能になった。
2. 1/eの時間応答性は約40秒であった。
3. 検出下限は10秒積算で約300pptvと見積もられた。
4. 改造後も10ppbvまでの範囲で良い直線応答性が確認された。
5. 実大気条件（少なくとも郊外程度のルーラルな大気質条件）における芳香族炭化水素、NO、CS₂などの化合物からの干渉は無視できる程度であることが確かめられた。
6. 10ppbvまでの範囲における全体の不確かさは約25%であると見積もられた。

文献

Hatakeyama, S., K. Murano, F. Sakamaki, H. Mukai, H. Bandow, and Y. Komazaki, "Transport of Atmospheric Pollutants from East Asia", *Water, Air, and Soil Pollution*, **130**, 373-378 (2001).

Hatakeyama, S., A. Takami, F. Sakamaki, H. Mukai, N. Sugimoto, A. Shimizu, and H. Bandow, "

Aerial measurement of air pollutants and aerosols during March 20–22, 2001, over the East China Sea", *J. Geophys. Res.*, **109**, D13304, doi:10.1029/2003JD004271 (2004).

(5) 大気汚染物質が雲の物理学的・光学的性質に及ぼす影響に関する研究

石坂 隆 (名古屋大学地球水循環研究センター)

近年、東アジア地域は中国・韓国などにおける急激な経済発展により、大気汚染物質が多量に放出され、大気が強く汚染される状況になりつつある。これらの大気汚染物質は大気環境にさまざまな影響を及ぼす可能性が考えられるが、本研究では“雲の放射学的間接効果の評価”に寄与する観点から、大気汚染物質が雲の物理学的性質に及ぼす影響を観測的・数値実験的に調べた。

[1] 航空機搭載用雲粒核濃度測定装置の開発

大気汚染物質は大気中の吸湿性粒子数濃度を増加させることによって、雲粒核数濃度を増加させ、雲の微細構造に大きな影響を及ぼすことが考えられる。しかし、雲粒核数濃度は小型の熱・水蒸気拡散チェンバーやHaze Chamberなどで不十分な形で観測されて来たに過ぎない。このため、我々は縦型の熱・水蒸気拡散雲チェンバー3台と大気エアロゾルカウンター ($d > 0.1 \mu\text{m}$) から成る航空機搭載用雲粒核濃度測定装置 (CCNカウンターと略称) を開発し、観測に使用した。写真1はCCNカウンターの外観である。雲チェンバー内の過飽和度はチェンバー内壁両側プレートの温度差を変えることによって、任意に設定可能である。観測では、3台の雲チェンバーをそれぞれ過飽和度は0.0%、0.15%と0.3%に設定した。チェンバー内で形成した水滴の数濃度はチェンバー下端に取り付けた光散乱式粒子カウンターで粒径別に測定し、粒子の臨界粒径を考慮し、雲粒核数濃度を導出した (Ishizaka et al., 2001, 2004; Mandira et al., 2004)。本装置の性能については、NaCl標準粒子を使用し、検定実験を行った。その結果、本装置によって雲粒核数濃度を高い精度で測定できることが示された。

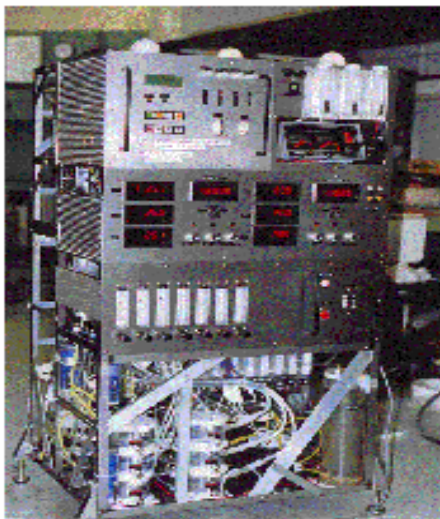


図1. 航空機搭載型雲粒核測定装置.
縦型雲チェンバー3台の高さ100cm
高さ、装置の重量約100kg、電源
AC100V・7A (起動時、その後約3.5A
程度に減少)

〔2〕大気汚染物質と大気エアロゾル・雲粒核数濃度との関係

中国・韓国・日本などからの大気汚染物質が東シナ海上に流入し、これらが大気エアロゾル粒子さらに雲粒核数濃度に及ぼす影響を調べるために、大気汚染物質の指標の1つとしてSO₂ガス濃度を選び、大気エアロゾル粒子の粒径分布及び雲粒核スペクトルの航空機観測を九州の南西海上沖合いで行った。航空機観測は2000年12月（APWX-E1）、2001年4月（APEZX-E2）と2003年3月～4月（APEX-E3）に実施した。APEX-E1では、航空機上で大容量エアロゾル採集装置を用いてガラス板上にエアロゾル粒子（ $d > 0.3 \mu\text{m}$ ）を多量に採取し、それらのイオン組成をイオンクロマトグラフィーで分析した。また、APEX-E3では、大気エアロゾル粒子1個1個の形態と元素組成を電子顕微鏡で分析すると共に、雲の下部で霧雨の形成などに関与する巨大雲粒核の粒径分布を雲底付近で観測した。

図2は大気境界層内におけるエアロゾル粒子の化学組成と雲粒核（過飽和度0.3%）及びエアロゾル粒子（ $d > 0.1 \mu\text{m}$ ）数濃度との関係である（Mandira et al., 2004）。雲粒核数濃度がエアロゾル粒子中の非海塩起源亜硫酸イオンとカルシウムイオンさらにアンモニウムイオン濃度と比較的良好な相関が見出された。これらの結果から、雲粒核数濃度は土壌成分の関与なども一部考えられるが、硫酸アンモニウムなどの大気汚染物質の影響を強く受けることが推察される（Ishizaka and Mandira, 2003; Kagawa et al., 2003）。大気汚染物質が東シナ海上にしばしば多量に流入

し、エアロゾル粒子の数濃度や組成に大きな影響を及ぼす実態がエアロゾル粒子1個1個の電子顕微鏡分析からも強く示唆された。図3は大気エアロゾル粒子（ $d > 0.1 \mu\text{m}$ ）と雲粒核数濃度の関係である（Mandira et al., 2004）。東シナ海上での雲粒核数濃度は大気エアロゾル数濃度と密接な関係があり、エアロゾル数濃度が増加すると雲粒核数濃度も増加することが見出された。

〔3〕雲粒核が雲の物理的・光学的性質に及ぼす影響

雲を構成する雲粒数濃度と大気エアロゾル粒子・雲粒核数濃度との関係の定量的評価は、雲物理の発展さらに人工衛星資料解析などの研究に大変重要な資料である。

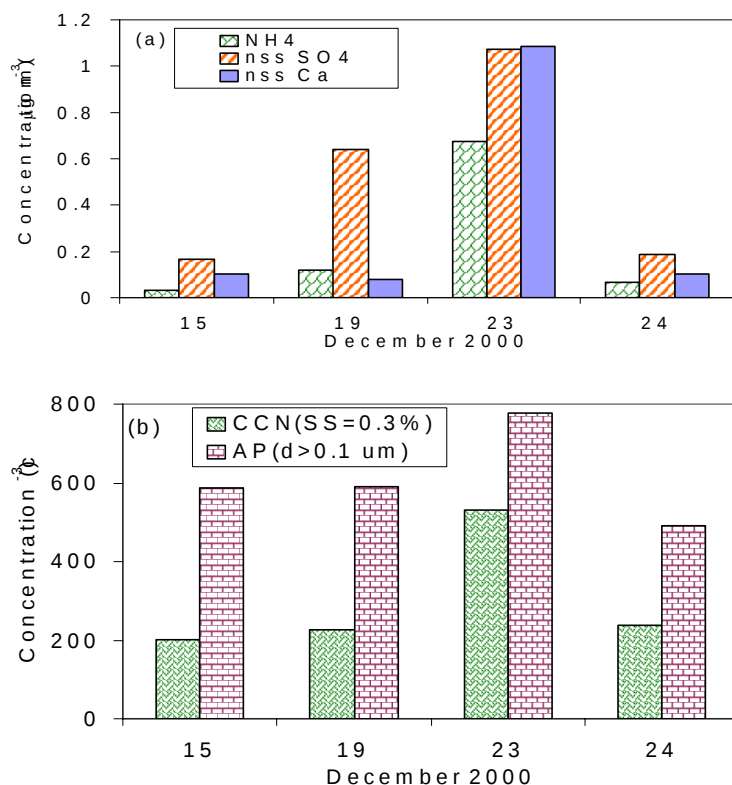


図2. 大気境界層内におけるエアロゾル粒子の化学組成と雲粒核（過飽和度0.3%）及びエアロゾル粒子（ $d > 0.1 \mu\text{m}$ ）数

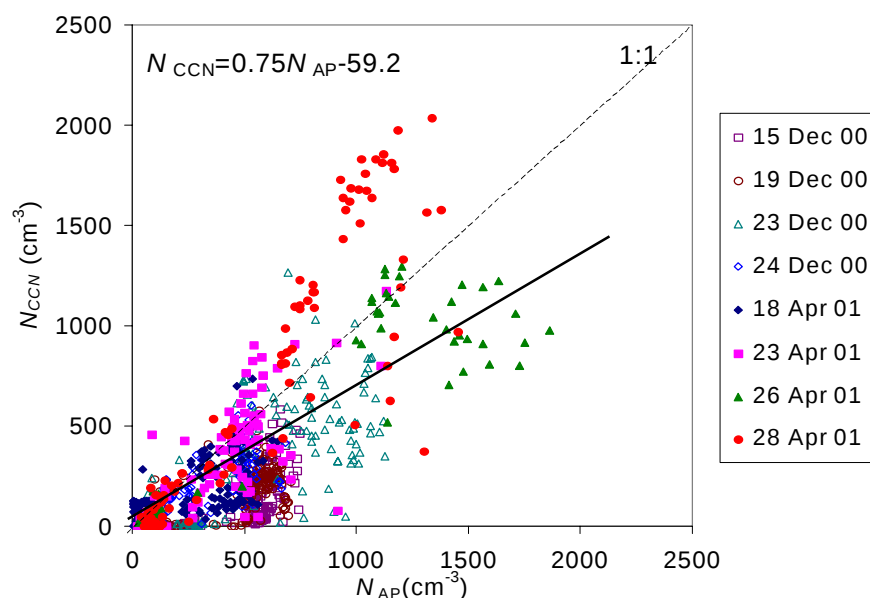


図 3．大気エアロゾル粒子 ($d > 0.1 \mu\text{m}$) と雲粒核数濃度の関係。
観測資料は 2000 年 12 月 (APEX-E1) 及び 2001 年 4 月 (APEX-E2) のもの。

図 4 は雲粒数濃度と大気エアロゾル粒子・雲粒核数濃度との関係を調べた結果である。我々の航空機観測結果は Vong and Covert(1998) と Chuang et al.(2000) の観測結果と類似し、Kaufman et al.(1990) などの理論的な結果とは大きく異なることが見出された。さらに、図 5 は雲粒核数濃度と雲粒の光学的有効半径 (r_e) との関係を雲の種類別に調べた結果である (Ishizaka et al., 2004)。雲の雲底付近では層積雲でも対流雲でも雲底下の雲粒核数濃度と r_e の関係は逆相関になることが見出された。また、対流雲の中・上部でも雲の性質に大きな影響を及ぼす雲周辺の雲粒核数濃度と r_e の関係には逆相関にあることが見出された。即ち、大気汚染が進行すると、下層雲内の雲粒数濃度を増加させると共に、雲粒の光学的有効半径を減少させる実態が東シナ海上でも起こっている可能性が見出された。図 6 は雲頂付近における雲粒数濃度と光学的厚さとの関係を調べた結果である。この結果から、大気汚染物質は下層雲の光学的厚さにも大きな影響を及ぼすことが推察される。

雲粒核が雲の物理的・光学的性質に及ぼす影響については、中島ら (2003) が開発した雲粒核の影響を陽に扱った領域モデル (NHM+HUCM) について我々は特に雲物理過程の計算スキームを改良し、数値実験的に上記の航空機観測結果を定量的に調べることを現在進めている。

[4] その他の研究

- (1) 大気中の湿度がエアロゾル粒子の光学的性質に及ぼす影響 (Pradeep et al., 2004)
- (2) 雲活動に伴う新しいエアロゾル粒子の生成 (Peter et al., 2004)

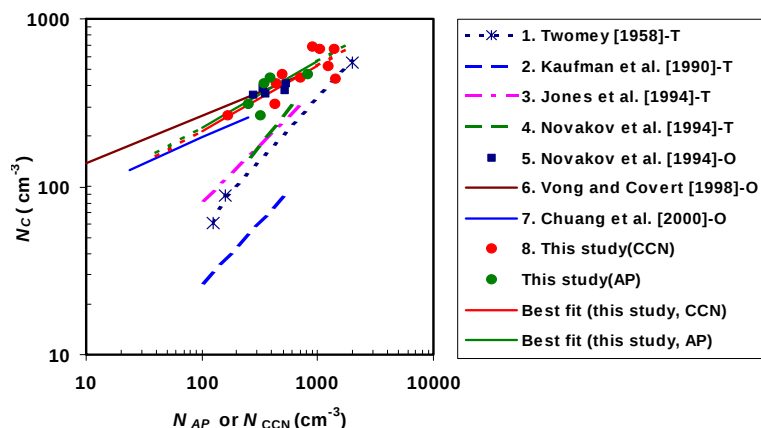


図4．雲粒数濃度と大気エアロゾル粒子・雲粒核数濃度との関係右側括弧内の研究者横のサフィックスのT:理論計算によるもの、O:観測によるものを示す。

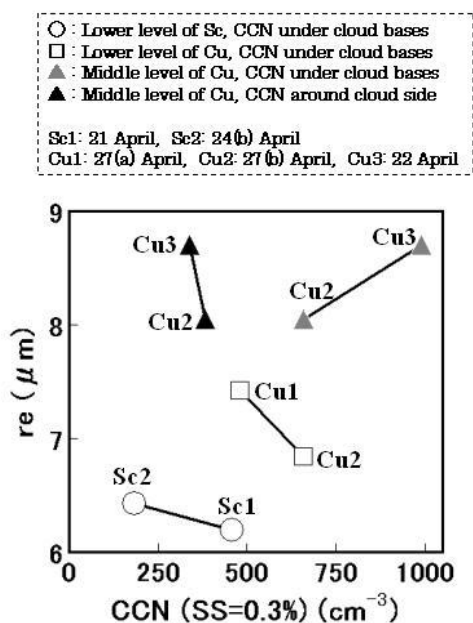


図5．雲粒核数濃度と雲粒の光学的有効半径 (re) との関係．Cu:対流雲、Sc:層積雲．

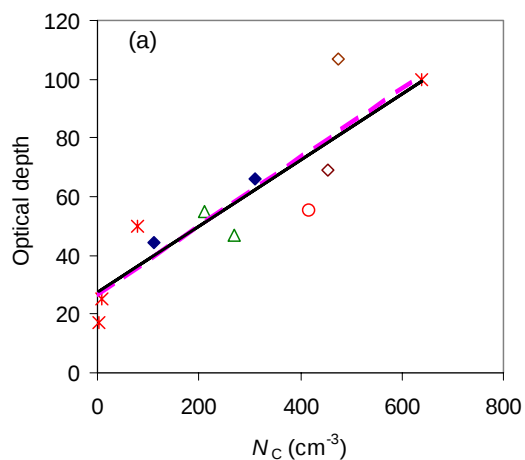


図6．雲頂付近における雲粒数濃度と光学的厚さとの関係．雲粒数濃度は航空機観測値、また光学的厚さは雲粒粒径分布と雲水量の航空機観測値を用い、1 kmの幾何学的雲の厚さについての計算値。

[5] 研究成果の今後期待される効果

1. 雲粒核数濃度測定装置

雲粒核数濃度の時間的・空間分布と雲の微細構造との関係を調べ、大気エアロゾルによる雲の放射学的間接効果を究明するため、測定精度の高い雲粒核数濃度測定装置の開発が必要となり、現在世界中でその開発が活発に進められている。この春米国のある会社から新しい雲粒核数濃度測定装置が市販され、何人かの研究者が既に購入している。この装置の原理は我々のものと異なり、操作も比較的簡便なものとなっている。しかし、この装置は1つの過飽和度で雲粒核数濃度を測定するのに約10分程度必要なため、地上観測には使用可能であるが、航空機観測には極めて不向きである。それに比べ、我々の装置は3種の過飽和度における雲粒核数濃度を連続して測定できるため、航空機観測に適しており、今後多くの人に利用される可能性が考えられる。

2. 大気汚染物質と雲粒核・雲粒数濃度の関係に関する観測資料

最近、東アジア地域における大気汚染物質の増加に伴う大気環境の変化について、世界中の研究者が大きな関心を寄せている。しかし、東アジア域における大気汚染物質と雲粒核・雲粒数濃度の関係などについての観測例が極めて少ないために、我々の観測例も世界の研究者から大変注目されている。我々の観測例は人工衛星資料による雲物理学の構造の解析、さらに東アジア域における大気汚染物質の下層雲の形成や微細構造に及ぼす影響や大気汚染物質が雲の放射学的間接影響の究明などに大きく貢献するものと考えられる。

参考文献

- Khatri, P., Y. Ishizaka and H. Minda, The effects of relative humidity on optical properties of aerosolparticles over East China Sea: A numerical estimation from composition and size distribution of aerosol particles, To be prepared to *Journ. Geophys. Res.*, **109**, 2004
- Peter, J. R., S. T. Siems, J. B. Jensen, J. L. Gras, Y. Ishizaka and J. Hacker, Prediction and observations of aerosol processing by a cumulus: Evidence for particle nucleation in clouds. Submitted to *Journ. Geophys. Res.*, **109**, 2004.
- Adhikari M., Y. Ishizaka, H. Minda, R. Kazaoka and J.B. Jensen, Vertical distribution of CCN concentration and their effect on microphysical properties of clouds over the sea near the Southwest Islands area in Japan, Revised in *Journ. Geophys. Res.*, **109**, 2004.
- Ishizaka, Y., R. Kazaoka, M. Adhikari and J. B. Jensen, The effect of CCN around the clouds on their microphysical properties -Aircraft observations over the sea near the Southwest Islands area in Japan-, Revised in *Atmospheric Research*, 2004.
- Ishizaka, Y and M. Adhikari, Composition of cloud condensation nuclei, *Journ. Geophys. Res.*, **108**, D4, 4138 (AAC 2-1~2-16), 2003.
- Kagawa, M., Y. Ishizaka and K. Ohta, Sources of sulfate in winter aerosols over the Sea of Japan, as inferred from selenium composition, *Atmos. Environ.*, **37**, 1593-1600, 2003.
- Ishizaka, Y., R. Kazaoka, H. Minda, M. Adhikari, J. Fukaya, K. Suzuki and C.-S. Zhao, CCN distributions over the Sea near the Southwest Islands Area in Japan and their effect on clouds. Proceedings of the 4th APEX International Workshop, 26-28 September 2001, Kyoto, Japan, 115-120, 2001.

4. 5 アクティブセンシングによる結果

熊谷博 杉本伸夫、村山利幸 岡本創、竹内延夫、安井元昭 鷹野敏明

(1) 雲レーダ観測システムの開発

本研究では、雲の垂直プロファイルを得ることが出来るミリ波雲レーダを活用した研究を行った。これには、情報通信研究機構（旧通信総合研究所）が所有する雲レーダシステム(SPIDER)を利用した、地上、船上及び航空機実験がある。また、雲レーダの有効性を鑑み、新しく廉価な雲レーダシステム開発にとり組み、観測運用に利用できるシステムの開発を行った。

①雲レーダの船上観測

海洋研究開発機構（JAMSTEC）の観測船「みらい」に雲レーダとライダーを搭載した観測を2001年5月の2週間、日本近海の太平洋上で、同年9月から12月までののべ3ヶ月間、熱帯域を含む太平洋上で実施した。このように雲レーダとライダーを搭載した海洋上の観測は、今回が初めてのものである。まずこれらのレーダとライダーのデータからどのような雲の鉛直分布が得られたかについて述べることにする。図4.4.1に最初の5月の航海で雲レーダによって取得されたレーダ反射因子の時間-高度断面を載せた。図4.4.2は同じ期間のライダーの赤外波長1064nmで取得された後方散乱係数である。これからレーダ、ライダーのデータでそれぞれ雲域を抜き出すアルゴリズム(cloud mask)を適用した結果、ライダーは下層の雲の影響で上層にはレーダと比較して少ない頻度でしか雲の検出ができていないことがわかる。ただしライダーと組み合わせることで下層の雲の検出は5割程度増加することがわかった。

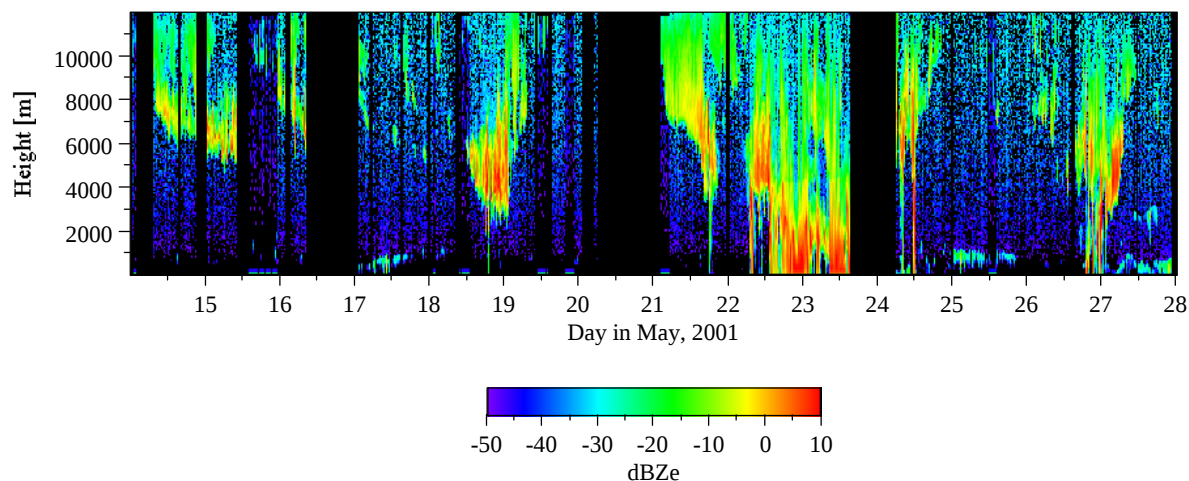


図4.4.1： 観測船みらいに搭載された雲レーダによって得られた雲からのレーダ反射因子

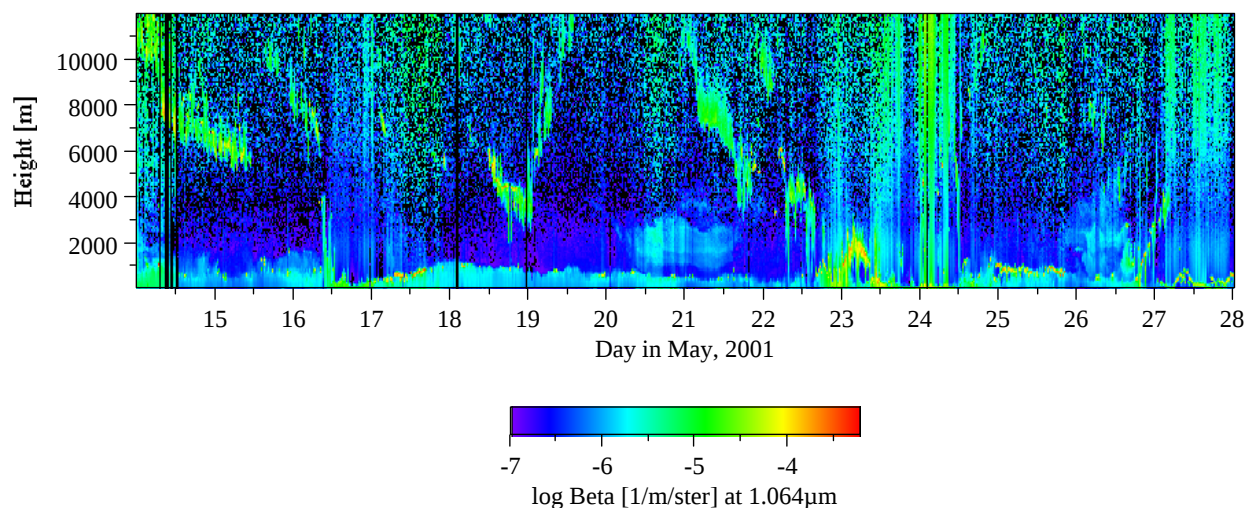


図4.4.2： 図4.4.1と同じだが、ライダーによって得られた雲やエアロゾルからの後方散乱係数

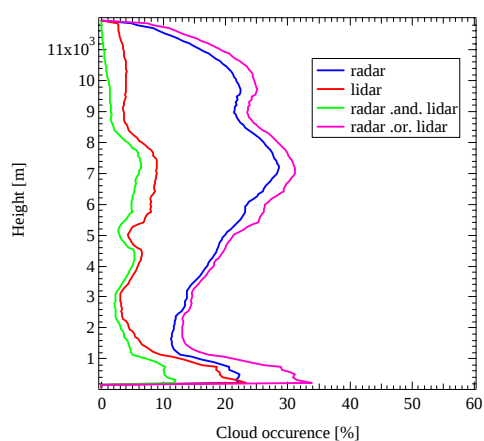
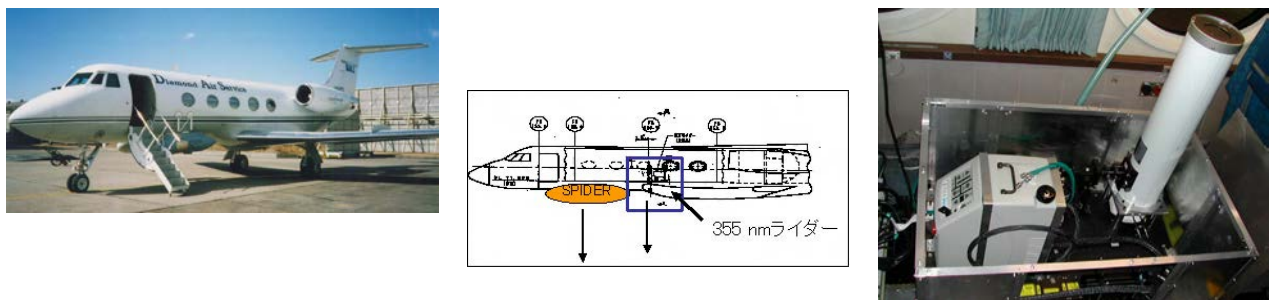


図4.4.3： 中緯度における雲の出現頻度の鉛直分布

これらの雲域のデータから、全期間における雲の出現頻度の鉛直分布を求めたものが図4.4.3である。ここで、青線と赤線は、それぞれレーダだけおよびライダーだけを使用した場合に得られた雲頻度分布である。レーダかライダーのどちらかのセンサーですべての雲をとられることができると仮定すると（桃色）、ライダーのみを使用して雲頻度分布を求めると大体全体の20-30 %程度しか雲を捉えることができないことがわかる。この観測期間には、高度6-8 km 雲出現のピークがあり、だいたい出現頻度は30 %程度であった。これらの結果とともに、熱帯域の長期間の観測も実施しており、長期間にわたり、これまで得られたことのない雲エアロゾルの垂直分布データベースが得られた。これらの結果から、レーダ+ライダーアルゴリズムにより微物理量を推定するとともに、気象モデルとの比較が行われ、パラメタリゼーションの改善等に関して有益な情報が得られている。

②航空機観測システムの開発

雲レーダおよびライダーを搭載して、雲の上を飛行する航空機上からの雲・エアロゾル観測キャンペーン(APEX-E3/ECAV)は、2003年3月15日ー4月15日の間に、九州南西海上で行われた。キャンペーン観測における主要な目的は、(1)リモートセンシング手法による雲・エアロゾルの微物理量の推定アルゴリズムの確立のために、比較できる粒子の検証データを取得し、アルゴリズムの検証を行うこと；(2)航空機搭載の能動センサと衛星搭載の受動センサの観測結果の比較により、衛星観測による雲エアロゾル推定手法を高度化すること；(3)これらの結果を通じて海上の広域のエアロゾル・雲場の立体的測定手法の高度化を図るものである。このような航空機観測システムおよび搭載ライダーの写真を図4.4.4に示す。



(a)雲レーダ、ライダーを搭載した GulfStream-II の外観 (b)航空機に設置する雲レーダ (SPIDER)とライダーの配置図 (c)客室内に設置したライダーの外観図

図 4.4. 4: ガルフストリーム II に搭載された、雲レーダ (SPIDER) とライダーの配置図と外観

以下では、APEX-E3 の航空機観測結果の一例として、厚い巻雲の観測例を図 4.4.5 に示す。観測場所は九州西方の海上で、図示した区間は航空機の南北パス 34 km に相当する。同図には雲レーダ、ライダーにより得られた観測量及びこれらから推定された雲微物理量の高さプロファイルが示されている。雲レーダによる観測は、(a)レーダ反射因子(Z)と(b)上下方向ドップラー速度である。 Z のパターンからは巻雲中の流れの様子が見られるが、ドップラー速度で見ると、一般に上側が対流による上昇が見られ、下側は粒子落下による下降速度が見られる。図の時間の後半では、対流セルのようなものも見られ、複雑なパターンが見られる。このようなドップラー速度は、航空機観測においては機体の動揺の補正が必要であり、航空機の姿勢情報を使って処理をしている。この補正の精度を評価すると、0.1 m/s は達成されている。しかしながら、航空機の旋回などの場合には、このような精度は達成できず、課題が残る。巻雲の落下速度は、特に巻雲の寿命を評価する上で重要と考えられている。このため、将来の衛星搭載雲レーダにおいてもドップラー測定機能が計画されている。巻雲の上下速度を測定するためには、0.2 m/s 程度の精度が必要であろう。このような精度を衛星搭載レーダで実現することは一般には困難であるが、長時間の積分（例えば地上距離 10 km）が可能な場合には実現可能性がある。また、衛星観測の場合も、姿勢変動や、衛星高度の時間変化に伴う誤差成分の補正精度の評価が必要である。次に(c)ライダーの後方散乱断面積 β の特徴としては、雲頂

部にスペキュラーな反射成分が見らる。また、雲の途中でライダー波は減衰し、雲底まで見えない。これは水雲の場合にはしばしば起きるが、氷雲の場合には希な現象であり、このケースの巻雲が光学的に厚いことを示している。このような場合、レーダ、ライダーシナジアルゴリズムが適用できないという問題がある。このケースでは、別の航空機の KingAir による粒子観測を高度 7000 m 付近で行っているが、十分な比較を行うことが出来なかった。(d)有効粒径は一般に雲底ほど大きくなるが、十分雲底に近い高度まで推定することが出来ていない。(e)IWC については、雲の中層で最大値を取ると考えられており、このケースでもそのようになっている。

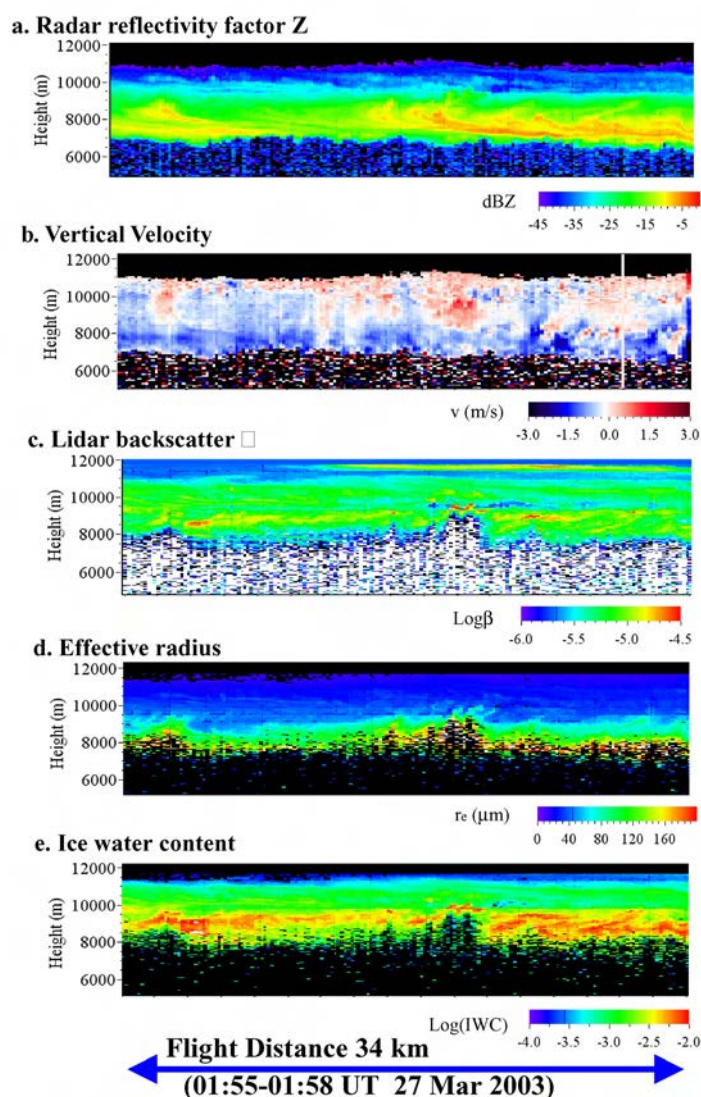


図 4.4.5: 3 月 27 日の観測および解析結果例; 5 種類の物理量の高度一時間表示を示す。横軸は 3 分間の時間を表しており、航空機の移動距離 34 km に対応する。上から、(a) 雲レーダ反射因子、(b) 雲レーダで測定した上下方向のドップラー速度、(c) ライダー後方散乱断面積、(d) シナジアルゴリズムから推定した有効粒径、(e) 同様な氷水量。

③FMCW 方式雲レーダの開発と評価

新たに開発した 95GHz の FM 変調方式の雲レーダの外観を図 4.4.6 に示す。アンテナは直径 1m で、送信信号は連続波(CW)であるが周波数変調(FM)されて天頂方向に放出され、雲中で散乱されて戻ってくる電波を受信側アンテナで受信し、それらの差周波数を検出することで雲の高さ分布を知ることができる。また、周波数シフトからドプラー観測を行うことができる。設計性能の緒元を表 4.4.1 にまとめる。

表 4.4.1: FM-CW レーダー設計性能緒元

性 能 諸 元	性 能
観測高度範囲	0.5 ～ 15 km
高度分解能	15 m
周波数	94.78 GHz $\pm$ 10 MHz
出力	0.5 W
偏波	直線 1 偏波
アンテナ開口	直径 1 m (2 台)



図 4.4.6 : 既開発の 95GHz ミリ波 FM-CW レーダの外観

図 4.4.6 は、開発した雲粒子観測用ミリ波レーダの外観である。アンテナはそれぞれ直径 1m で、送信信号は 0.5W の電波で周波数変調 (FM) されて左のアンテナから真上方向に放出される。雲中で反射して戻ってくる電波は右側の受信側アンテナで受信され、それらの差周波数を検出することで雲の高さ分布を知ることができる。また、周波数シフトからドプラー観測を行うことができる。このような方式は FM 方式のレーダと呼ばれ、通常のパルス方式レーダに較べて小さい電力で同等の感度を実現することができ、従ってコストを安く抑えられることが特徴である。

2003 年 3 月～4 月に行われた APEX-E3 キャンペーンの奄美大島での観測では、1 ヶ月にわたる常時観測で安定してデータを取得することができた。

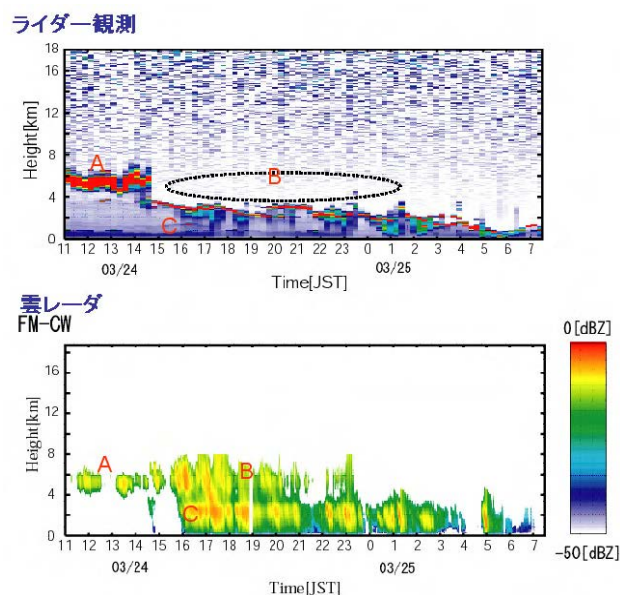


図 4.4.7 : FMCW レーダ・ライダー観測結果の比較

奄美大島では、同サイトで運用している国立環境研究所のライダーとの比較観測を実施した。このときの結果を図 4.4.7 に示す。同図から、以下のことがわかる。

図中の A の領域は、比較的薄い氷雲領域であり、ライダーでもある程度透過して雲の奥の方まで見えている。一方、レーダでは、ライダーに較べて検出限界が大きくなっておりやや感度不足で、雲が薄い時間では検出できていないが、その一方で濃い時間は検出できていて、ライダーの結果と合わせると雲の濃淡や内部構造が解明できる。

B の領域は、雲底部分が水雲に変化して雨を降らせている。そのためライダーでは雲底が見えるがそれより上の雲中は光が透過せずに全く見るができなくなっている。一方、ミリ波 FMCW レーダのデータは、雲中が見え、濃淡の構造や時間変化がよく捉えられている。

C の領域は弱い降雨である。ライダーでは、特に弱い降雨はほとんど光が透過して検出できないが、レーダでは濃淡や雨滴落下の様子が検出されている。

我々はこれまで、雲内部の粒子を観測することができる 2 アンテナ方式のミリ波 (95GHz) FMCW レーダの観測を行い、その性能が十分実用に耐えるものであることを示した。しかし 2 アンテナ方式は装置が大きく、感度がやや不十分であるなどの問題があった。このような背景から、我々は 1 アンテナ方式の FM-CW レーダの開発を開始し、小型高感度システムの開発に成功した。図 4.4.8 に 1 アンテナシステムの写真を示す。アンテナ開口は 1.4 m である。



図 4.4.8. 雲観測用ミリ波 FMCW レーダ (1 アンテナ方式) のアンテナ外観

(2) ライダー観測システムの開発

ライダーは雲およびエアロゾルの空間分布を高い時間空間分解能で測定する手法として非常に有効な手法であるが、ライダーをレーダーや受動型の放射計と組み合わせて複合的にデータを利用することによってこれまでに得られなかったパラメータを決定できる可能性を持っている。本研究では、EarthCARE 計画などの将来の衛星観測をにらんでこのような複合利用手法を検討、開発することが目標のひとつである。本研究では、紫

外領域(波長 355nm)の航空機（ガルフストリーム II）搭載ライダーを開発し、観測キャンペーン（APEX-E3）の中で情報通信研究機構（旧通信総合研究所）の 95GHz 雲レーダーとの同時観測を行った。さらにこの観測結果を解析するとともに、装置の性能評価を行い、これに基づいてライダーを 2 波長化（1064nm、532nm）するための改造を行った。2 波長化したライダーを用いて海洋研究開発機構のパラオ観測実験に参加し、名古屋、パラオ間で雲レーダーとの同時観測を行った。

①航空機搭載偏光ミュー散乱ライダーの開発と観測

航空機搭載用ライダーは Nd:YAG レーザーの第三高調波（355nm）を光源とするもので、航空機（Gulfstream-II）のキャビン内に搭載し有効径約 12cm の窓から下方を測定する。平成 15 年 3 月 15 日から 4 月 16 日に行われた APEX-E3 の観測キャンペーンにおいて、ポッドに搭載された情報通信研究機構の 95GHz 雲レーダー(SPIDER)との同時に観測を行った。ライダー観測データは雲レーダーとの同時解析のための処理を行い、シナジー解析に使用するとともに、ライダー単独でエアロゾルの解析を行った。APEX-E3 では雲が観測対象であったが、2003 年 4 月 13 日の鹿児島から名古屋へのフェリーフライトにおいて黄砂層が観測された。ここでは、このケースについて報告する。

図 4.4.9 に 2003 年 4 月 13 日の飛行経路と、ライダー（波長 355nm）で得られた高度 1-5 km の光学的厚さを示す。図中、赤で示すのは雲の無いエアロゾルのみのケース、青は雲を含むケースである。また、飛行経路に沿った消散係数の鉛直断面を図 4.4.10 に示す。フライトの前半は上層に雲があるため雑音が目立つが、地上から高度 5 km 付近までにエアロゾル層が観測されている。この期間は黄砂が輸送されており、地上のライダーネットワークでも黄砂層が観測された。

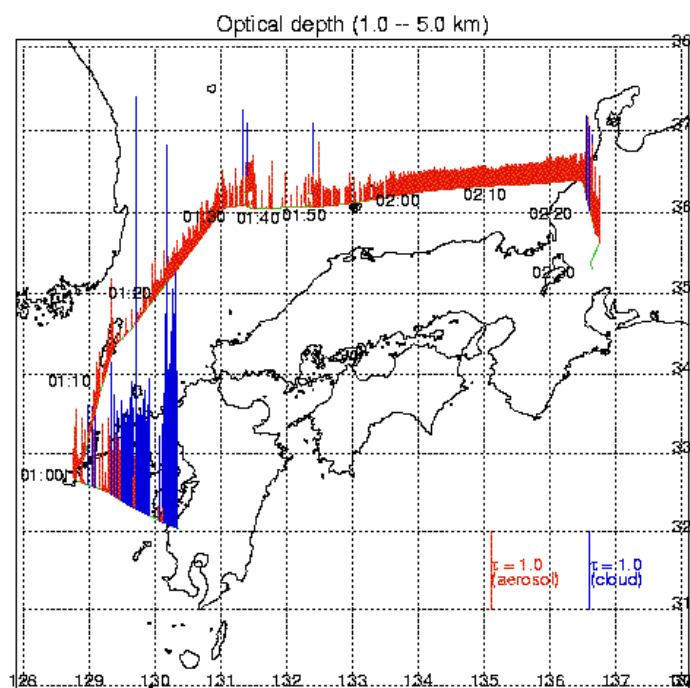


図 4.4.9: 2003 年 4 月 13 日の飛行経路とライダーで観測された高度 1-5 km の光学的厚さ (355nm)。

030413, Extinction coefficient (355nm), S1 = 50

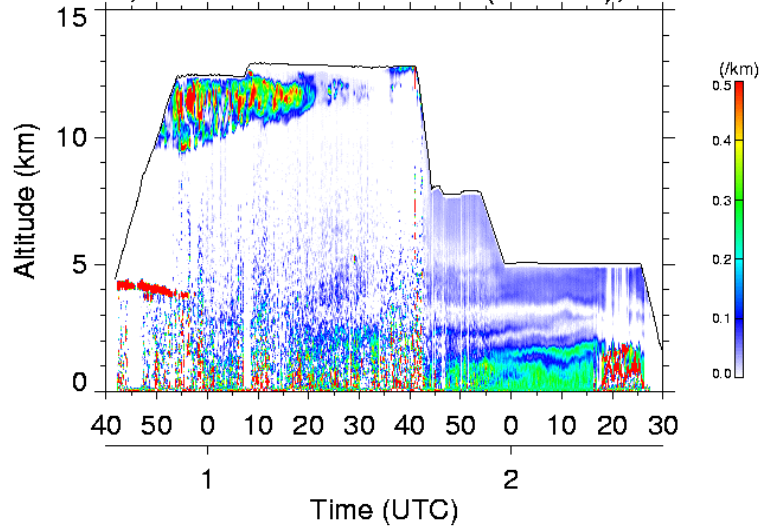


図 4.4.10 ライダーで観測された 2003 年 4 月 13 日の飛行経路に沿った消散係数の断面。

また、化学輸送モデル CFORS でも黄砂が予想されていた。図 4.4.11 (左) は九州大学／国立環境研 CFORS による予報モードの計算結果を用いて、黄砂濃度の飛行経路に沿った断面をプロットしたものである。また、図 4.4.11(右) は平面分布のプロットである。

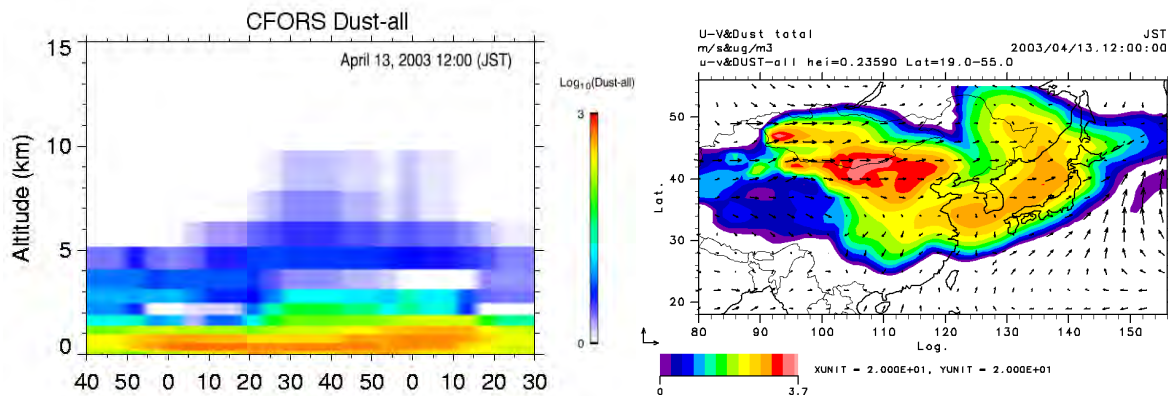


図 4.4.11 化学天気予報システム (CFORS) による予報モードによる黄砂濃度の計算結果。(左) 黄砂濃度の飛行経路に沿った断面、(右) 地上の黄砂濃度の分布。

図 4.4.10 と図 4.4.11 を比較すると、北上するとともに黄砂層の高度が上がることや、高度 3km 付近に濃度の薄い層があることなど黄砂の分布構造を CFORS が良く再現していることがわかる。しかし、定量的な濃度については観測との差が大きい。実際、図 4.4.11 の CFORS の結果はログスケールのプロットで、高度 3–5km の上層の黄砂層は非常に濃度が薄い。全般に CFORS は高濃度領域は過大評価、低濃度領域は過小評価する傾向があるように思われる。

航空機ライダーの観測結果を福江島における地上ライダー (波長 1064nm, 532nm) の結果と比べたものを図 4.4.12 に示す。0100UTC に航空機は福江島上空を通過している。ライダーの波長この時間は飛行高度直下に上空に雲があるため航空機ライダーの信号対雑音比が低い、地上ライダーと整合する消散係数プロファイルが得られている。

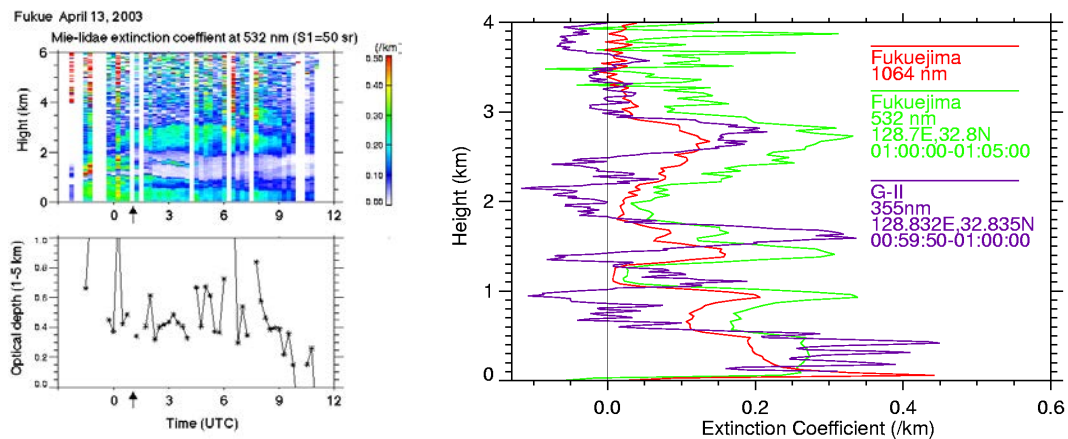
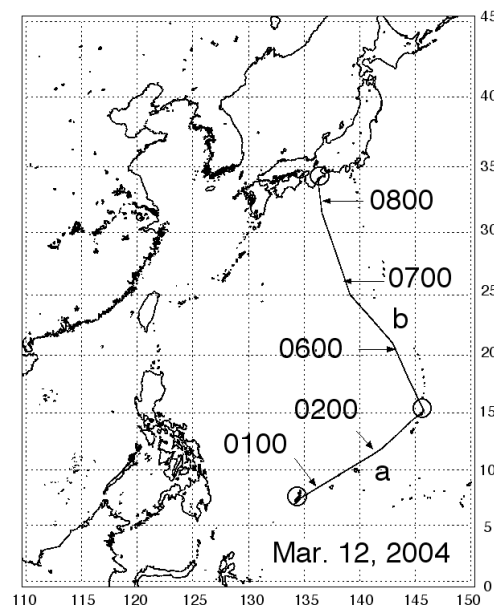


図 4.4.12 航空機ライダーの観測結果と福江島の地上ライダー（波長 1064nm, 532nm）の比較。（左）福江島ライダーのエアロゾル消散係数の時間高度表示とエアロゾル光学厚さの時間変化(532nm)、（右）消散係数プロファイルの比較。

航空機搭載ライダーのデータ解析の結果、全般として下層のエアロゾルの観測においては、波長 355nm を用いることは大気のレイリー散乱が大きいことなどのために不利であることが分かった。

②二波長ライダー観測結果

平成 16 年度の実験では、532nm と 1064nm の 2 波長を用いることとしてライダーの改造を行った。改造では第三高調波発生器を取り除き、受信系に 1064nm 検出用のアバランシェフォトダイオード(APD)を追加するとともに、ミラー、フィルター等の光学素子を変更した。この 2 波長ライダーと雲レーダーの同時観測を、海洋研究開発機構のパラオ観測(2004 年 3 月 2 日 - 12 日)に参加して行った。パラオ周辺における 3 回のフライトの他、名古屋、パラオ間の往復のフェリーフライトで観測を行った。図 4.4.13 はパラオからサイパンを経由して名古屋に帰還するフェリーフライト時のライダー観測結果を示す。



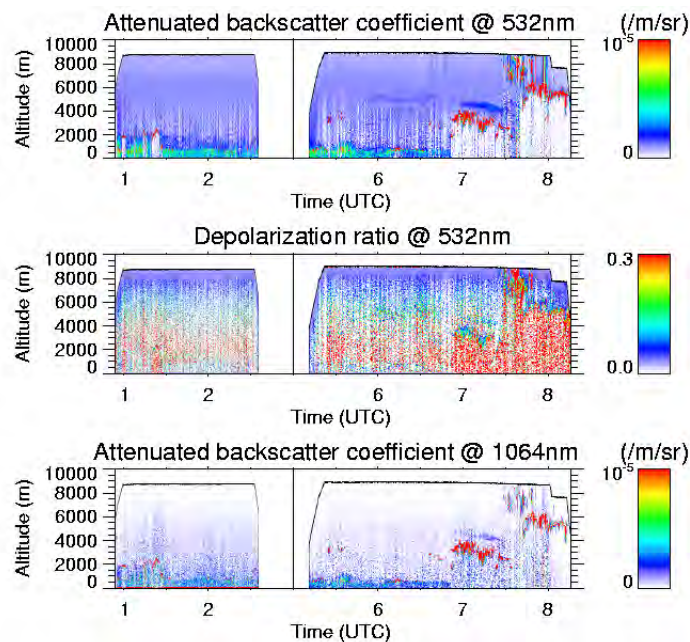


図 4.4.13 2004 年 3 月 12 日の航空機ライダー観測結果。(左) 飛行経路、(右上)532nm の減衰補正なしの後方散乱係数、(右中)532nm の信号偏光解消度、(右下)1064nm の減衰補正なしの後方散乱係数。

このフライトではパラオから北緯 25 度付近にかけて大気境界層内に比較的高濃度のエアロゾルが観測されていること、北緯 20 度から 30 度にかけて高度 4km-6km に光学的に薄いエアロゾル層がみられることに特徴がある。上層のエアロゾルは偏光解消度が高く黄砂であると考えられる。しかし、CFORS では予報されておらず、長距離輸送されたものであると推定される。今後、流跡線解析を行いその起源を同定する考えである。大気境界層のエアロゾルは波長比 ($\beta_{1064\text{nm}}/\beta_{532\text{nm}}$) の値も比較的大きく、海塩であると推定される。

(3) 得られた雲の物理特性と放射特性

①雲の鉛直構造

ここでは、船上観測(2001 年 5 月)で得られたレーダとライダーの観測データを 1 分の時間分解能、82.5m の鉛直分解能とにそろえ、それらに対してレーダとライダーを用いた雲域推定アルゴリズムを適用した。雲域推定には、レーダについては、ノイズレベル+0.5dB 以上のもので、かつ鉛直方向に隣り合う 2 つの層にわたって有意な信号となるものを選んだ。ライダーについては 2 つのレンジにわたって後方散乱係数が $10^{-5.5}$ [1/m/ster] となるものを雲域であるとした。この値はエアロゾルとノイズの信号を除去することを目的として設定した。2001 年 5 月 14 日から 2 週間、日本近海太平洋上で取得された雲レーダとライダーのデータに対し雲域検出を行ったものを、それぞれ図 4.4.14(上), (下)に示した。下層に雲があるとライダーの信号は減衰してしまい、レーダでは観測されている上層の雲を捉えきれていないことがわかる。下層の雲に関してはライダーの方がレーダより感度がある場合があるが、これは水雲の粒子半径が小さいためである。

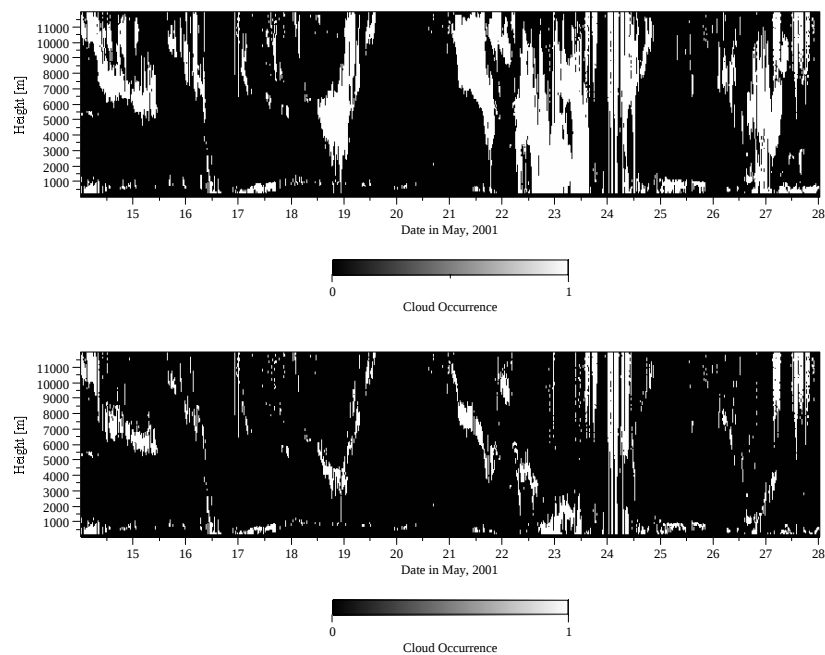


図 4.4.14(上) 雲レーダによる雲の検出頻度；(下)ライダーによる前図と同様の頻度

この期間の各高度での雲出現頻度分布の平均値を求めた結果を図 4.4.15 に示す。図中で radar とあるのがレーダ単独で、lidar とあるのがライダー単独で求めた雲域の頻度分布である。Ra & Li はレーダとライダーの両方の測器で、Ra or Li とあるのは、レーダかライダーかどちらかの測器で検出された雲域を元にしたものに相当する。Ra or Li が真の雲域を示すと考えると、高度 1 km 程度の低層ではレーダは 1/3 程度の雲を捉えることに失敗しているが、そこから上の高度では雲域の 8 割以上を検出することに成功していると結論できる。Ra & Li と Lidar 単独の値の違いは、上層でもライダーとレーダの雲域が一致していない部分があることを示している。いずれにしても、7km 付近に雲域のピークがあり、そこでの雲出現頻度は 30% くらいであった。またこの観測期間に、平均的に何層の雲が形成されていたのかを調べた結果を図 4.4.16 に示す。1 層になるのが全体の 40%、2 層になるのが、22%、3 層が 10%、それ以上が 7% であった。

次に、NIES-CCSR の GCM をベースに開発された SPRINTARS との比較を行った。SPRINTARS は水平解像度が約 100 km で、観測結果との比較には 6 時間平均値を使用した。ここでは SPRINTARS で再現された雲水量、雲量、エアロゾルの量等を元にして雲レーダとライダーの信号を再現して、それらを観測値と比較することにした。比較の結果として、全体のパターンは良い一致を示していた。ただ雲域が一致している領域でも SPRINTARS の方が大きめの値を示しており、これは雲水量の過大評価をしていると理解される(図は省略)。次に出現頻度の高度分布の比較結果を図 4.4.17 に示す。高度 4km 以下ではモデルが雲量を過小評価し、高度 8km 以上の上層雲に関してモデルが過大評価していることがわかる。図 4.4.17 と同様の比較を熱帯の航海 MR01/K05 の全データに対して行ったものを図 4.4.18 に示す。熱帯では中緯度(MR01/K02)の場合と異なり、高度 10 km 付近に雲域のピークが存在すること、その高度での雲量は 20% である等がわかった。全体として雲域をよく再現していたが(図は省略)、高度 10 km 以上の領域では、MR01/K02 の場合と同様にモデルが雲量を過大評価していた。

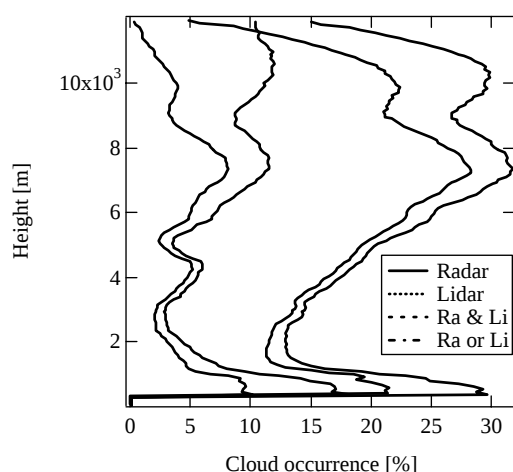


図 4.4.15: 平均の雲の検出頻度の垂直分布

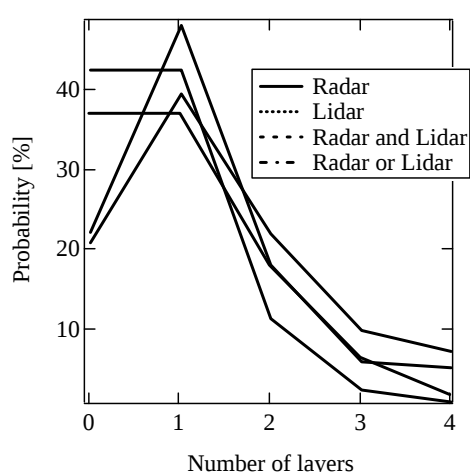


図 4.4.16: 雲の層構造の層数の頻度

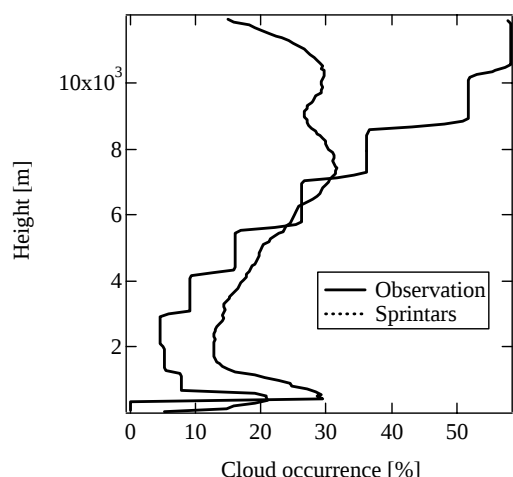


図 4.4.17: 雲の頻度の垂直分布の観測値 (図 4.4.15 と同じ) と SPRINTERS の比較

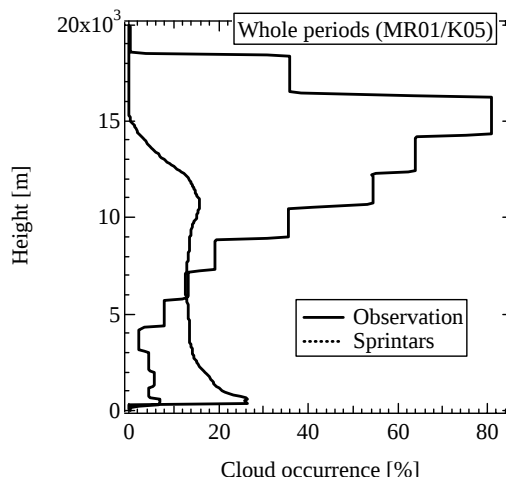


図 4.4.18: MR01/K05 観測データに対する図 4.4.17 と同様な比較

②雲の微物理特性

図 4.4.15 で見たように、レーダとライダの両方で雲域が検出できている部分は、全体の 20%程度であったが、その領域に対しては、これまで開発してきたレーダ/ライダアルゴリズムを適用し雲の微物理量を抽出することができる(Okamoto et al., 2003)。ここでは氷雲の解析結果のみを議論する。氷雲であるための条件として、ラジオゾンデから得られた温度の情報を利用し、温度が 0 度以下であることを要請した。有効半径と氷水量の抽出結果をそれぞれ図 4.4.19 (上), (下)に示す。下層になるほど落下に伴って有効半径が大きくなり、50 から 200 μm 程度までになっていた。氷水量は 0.001~0.1 g/m^3 程度であった。次にここで得られた有効半径と温度との関係を調べた (図 4.4.20)。温度を 5 度毎の領域に区切り、その領域ごとの有効半径の平均値を求めたものを実線で示す。有効半径の高度時間断面を調べた時に示唆されたように、有効半径と温度の間には明らかな相関があることがわかる。またライダより得られる偏光解消度が 10%以上のものに限って解析した結果 (点線) から、非球形の粒子の方がより大きな温度依存性を示すことがわかった。最後に、レーダより得られた落下速度と有効半径の関係を調べた(図 4.4.21)。

サイズが大きくなるほど落下速度も大きくなっているが、 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下で 50cm/s と一定の値を持つこと、 $150\text{ }\mu\text{m}$ 以上で落下速度の増加率が下がってくることがわかる。偏光解消度 10%以上のものを解析すると、 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下の小さいもので落下速度がそれ以外を含んだものと比較して小さくなっている。これは非球形粒子の方が球形粒子に比べ終端速度が小さいからであると理解される。

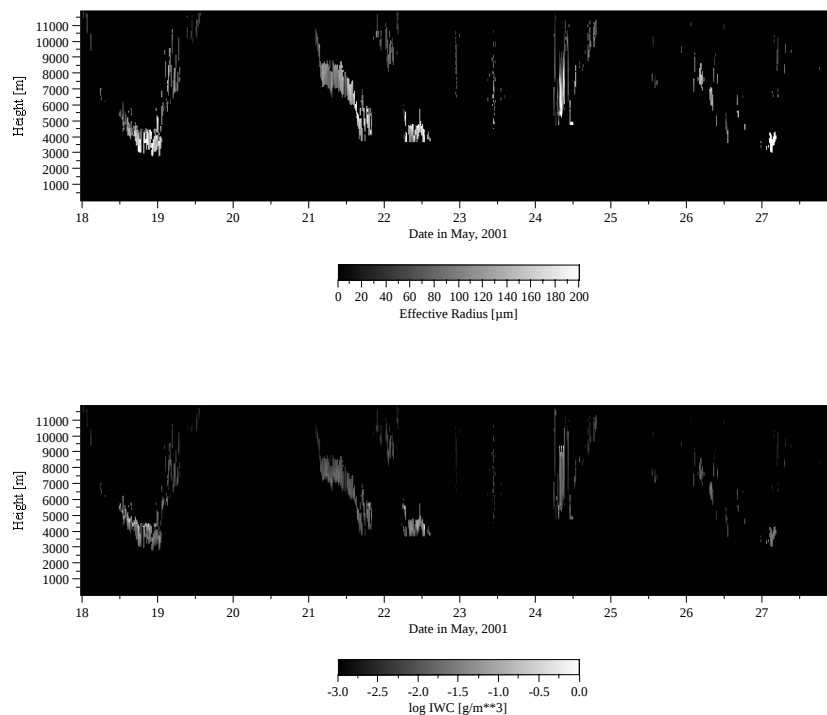


図 4.4.19: MR01/K02 航海におけるラジオゾンデ観測時間における氷粒子の有効半径の時間高度断面図(上)と氷水量(下)

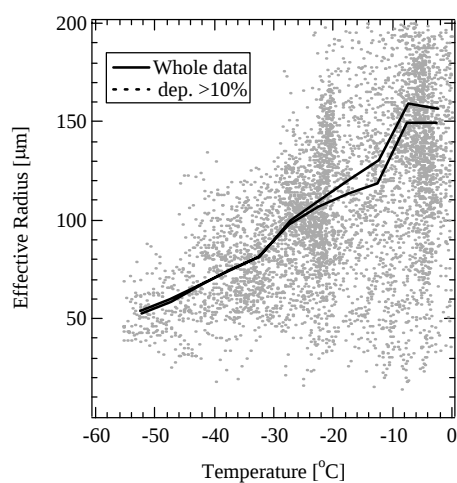


図 4.4.20: MR01/K02 における有効半径と温度の関係

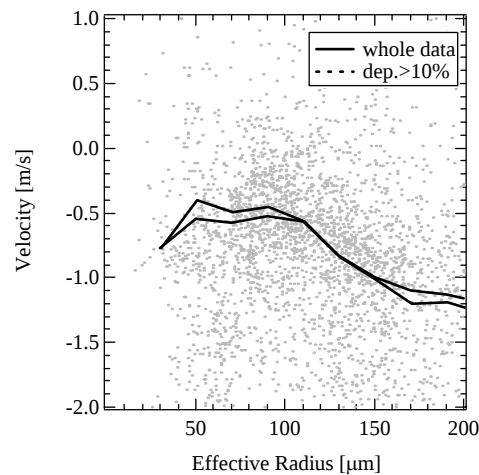


図4.4.21: 鉛直速度と有効半径の関係

(4) 成果から期待される効果と結論

本研究の中で新たに開発された観測システムやそれらによる結果例を紹介した。本研究では雲レーダおよびライダーを本格的に活用し、雲エアロゾルの3次元構造や微物理特性に新しい知見をもたらすことが出来た。また、航空機観測システム等の世界的にもユニークな観測システムを開発した。雲レーダは、今後雲の観測には欠かせない測器となると考えられ、本研究において、今後の普及に寄与するため廉価なFM方式による低電力レーダシステム開発を行った。これらは今後の本分野の研究観測あるいは、現業部門における雲の観測に大いに活用されるものであると考える。また、雲レーダ+ライダー観測の成果は、シナジー解析により雲微物理量プロファイルが推定され、これまで得られなかった特性や、特に船上の長期観測による統計的データも得られている。これらの結果とGCMとの比較も行われており、モデルの検証にとって有意義な結果が得られている。本研究では、これらの新たな観測装置の開発や導入を重点を置き、成果を上げることができたとともに、これらの観測システムは、今後の研究に大いに貢献することを信ずる。

参考文献

- 1) Iwasaki, S., R. Shirooka, Y. Tsushima, I. Matsui, A. Shimizu, N. Sugimoto, A. Kamei, H. Kumagai, H. Kuroiwa, M. Katsumata, K. Yoneyama, H. Okamoto, Subvisual cirrus clouds observation with the 1064-nm lidar, the 95-GHz cloud radar, and radiosondes on the warm pool, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L09103, doi:10.1029/2003GL019377, 2004.
- 2) Okamoto, H., S. Iwasaki, M. Yasui, H. Horie, H. Kuroiwa and H. Kumagai, *J. Geophys. Res.*, An algorithm for retrieval of cloud microphysics using 95-GHz cloud radar and lidar, 108,

- D7, 4226, AAC9-1 - AAC 9-21, doi:10.1029/2001JD0001225, 2003.
- 3) Okamoto, H., Information content of the 95GHz cloud radar signals: Theoretical assessment of non-sphericity and error evaluation of the discrete dipole approximation, *J. Geophys. Res.*, 107 (D22, 4628) , doi: 10.1029/2001JD001386, 2002.
 - 4) EarthCARE- Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer, Report for Assessment, ESA SP-1257(1) September 2001.
 - 5) H. Okamoto, S. Iwasaki, M. Yasui, H. Horie, H. Kuroiwa, and H. Kumagai: An algorithm for retrieval of cloud microphysics using 95GHz cloud radar and lidar, *J. Geophys. Res.*, 108(D7), 4226, doi:10.1029/2001JD001225 (2003).
 - 6) A. Shimizu, N. Sugimoto, I. Matsui, K. Arao, I. Uno, T. Murayama, N. Kagawa, K. Aoki, A. Uchiyama, and A. Yamazaki: Continuous observations of Asian dust and other aerosols by polarization lidar in China and Japan during ACE-Asia, *J. Geophys. Res.*, (2004)(in press).
 - 7) I. Uno, G.R. Carmichael, D.G. Streets, Y. Tang, J.J. Yienger, S. Satake, A. Wang, J.-H. Woo, S. Guttikunda, M. Uematsu, K. Matsumoto, H. Tanimoto, K. Yoshioka, and T. Iida: Regional chemical weather forecasting system CFORS: Model descriptions and analysis of surface observations at Japanese island stations during the ACE-Asia experiment, *J. Geophys. Res.*, 108(D23), 8668, doi:10.1029/2002JD002845 (2003).
 - 8) P. Piironen and E. E. Eloranta, "Demonstration of a high-spectral-resolution lidar based on an iodine absorption filter", *Opt. Lett.*, 19, 234-236 (1994)
 - 9) J. W. Hair, L. M. Caldwell, D. A. Krueger and C. Y. She, "High-spectral-resolution lidar with iodine-vapor filters: measurement of atmospheric-state and aerosol profiles", *App. Opt.*, 40, 5280-5294 (2001)
 - 10) Z. Liu, I. Matsui, N. Sugimoto: High-spectral-resolution lidar using an iodine absorption filter for atmospheric measurements, *Opt. Eng.* 38, 1661-1670 (1999).
 - 11) Z. Liu, N. Sugimoto, and T. Murayama: Extinction-to-backscatter ratio of Asian dust observed by high-spectral-resolution lidar and Raman lidar, *Applied Optics* Vol. 41, No. 15, 2760-2767 (2002).
 - 12) M. Hess, P. Koepke, and I. Schult: Optical properties of aerosols and clouds: The software package OPAC, *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 79, 831-844 (1998).

4. 6 衛星リモートセンシングによる結果

中島孝(JAXA/EORC), 日暮明子(NIES), Robert Hoeller (JAXA/EORC), 増永浩彦(Colorado State University, 前JAXA/EORC), 向井苑生 (近畿大学)

(1) 新しく開発した衛星解析システム

APEX衛星リモートセンシング班では、東アジア領域でのエアロゾルと雲特性を広範囲に把握するための衛星解析システムの構築を行い茨城県つくば市の国立環境研究所内に設置した(中島孝ら2001d, Nakajima T.Y, 2001a, 2001b, 2001c)。本衛星解析システムでは可能な限りの処理自動化を行うことで、広範囲かつ長期にわたるデータセットの作成を可能にしている。衛星データの提供では、NASAゴッダード宇宙飛行センター、東京大学生産研究所および東京情報大学の協力を得た。観測範囲の選定、解像度の設定、目標とする解析速度(データ公開までの時間)の設定においては、APEX各ワークショップ等でのAPEX地上観測班、航空機観測班、アクティブセンサー班とのディスカッションの結果を反映させ、適宜システム構成に変更を加えつつ現在の形態に至っている。

本衛星データ解析システムの主目的は次の通りである。

- (a) APEX集中観測実験 (APEX-E1, E2, E3) 期間中のエアロゾル特性と雲特性を衛星搭載イメージャー(Terra衛星搭載MODIS)を用いて観測し、データ解析結果を迅速に公開することで、地上観測や航空機観測との同期実験の成功あるいは非成功の即時判断を容易にし、観測計画立案のための参照情報を提供するとともに、観測後早い時期での整合的なデータセットの作成に資する。
- (b) 継続的なデータ収集およびデータ解析により、東アジア領域のエアロゾルと雲特性の中期・長期変動のモニタリングを行う。
- (c) 広範囲な領域のデータ解析を行うことにより、エアロゾル輸送モデル、雲物理モデル開発等の検証データの提供を行う。

また、本システムの主な特徴は次の通りである。

- (a) Terra衛星MODIS直接受信データを用いることで、観測後おおよそ半日で東アジアの広範囲な領域のエアロゾルおよび雲の光学・微物理特性の分布を得ることが出来る。

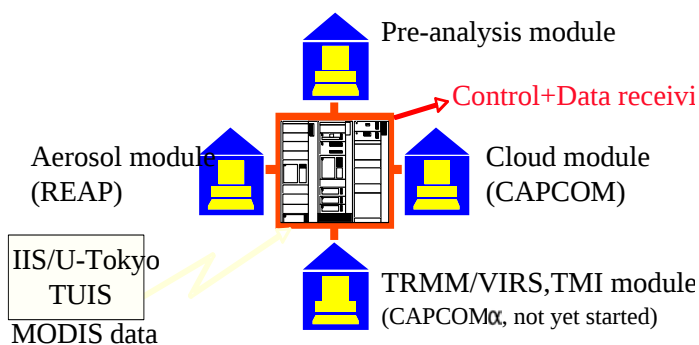


図1 衛星データ準リアルタイム解析システムの模式図。東京大学生産研究所(IIS)あるいは東京情報大学(TUIS)で受信されたMODISデータを1+4のプロセッサで解析する。

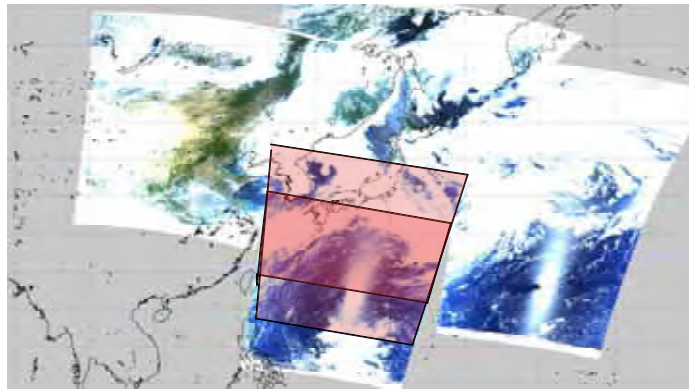


図2 本衛星データ解析システムによる観測範囲の推移。受信データソースの開拓と計算機システム拡張を継続して行うことで、APEX-E1(2000年), E2(2001年), E3(2003年)と、解析範囲が格段に拡大した。E2ではE1の2倍、E3ではE1の8倍以上の領域の観測領域を実現した。

- (b) 1km高解像度の解析を行うことで、地上および航空機観測との相互比較を可能にする。
- (c) 処理画像をウェブページ上で迅速に公開することにより、東アジア領域の毎日のエアロゾルと雲の状況把握を容易にする。

(2) エアロゾルの特性

MODISセンサーの、412nm, 443nm, 678nm, 865nmチャンネルを同時に用いて、エアロゾルの光学的厚さ(500nm波長における)、オングストローム指数、エアロゾル種別を推定する手法を開発した(Higurashi, 1999,2000,2002)。エアロゾル種別は、678nmと865nmから

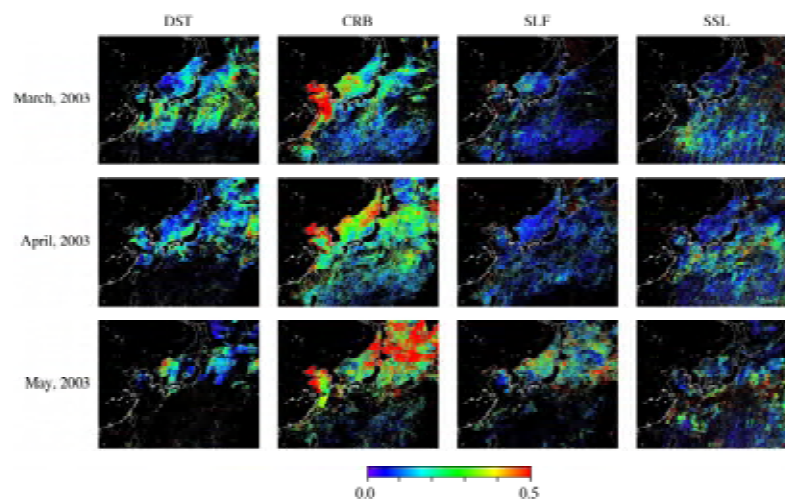


図3 MODIS データから解析された2003年3月,4月,5月のエアロゾル種別の光学的厚さ。DST(ダスト),CRB(カーボン粒子),SLF(硫酸粒子),SSL(海塩粒子)。

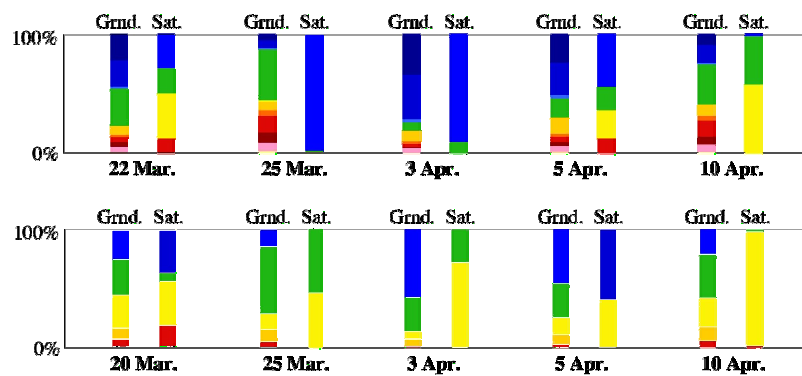


図4 2003年のAPEX-E3期間中に地上観測と衛星観測でえられた、エアロゾルの化学組成の構成率。地上観測点は奄美大島（上図）、福江島（下図）。

得られるオングストローム指数、および412nm, 443nmから推定されるエアロゾルの吸収性の大きさの組み合わせからなされるもので、海洋上におけるエアロゾルを、ダスト、カーボン微粒子、硫酸微粒子、海塩粒子の4種類に分類することが可能になった(図3)。図4のように地上観測と衛星観測の比較も行われ、良好な結果が得られた。

海上エアロゾルの観測精度を向上させると共に、陸上エアロゾルの検知アルゴリズムの開発も行った。開発したアルゴリズムは、Terra/MODISサイエンスチームが採用している短波長赤外チャンネルの利用とは異なり、ADEOS-II/GLIセンサーの近紫外チャンネルを用いるというものである(Hoeller,2003b,2003c,2004a,2004c)。近紫外波長を用いた観測としては、例えばTOMSセンサー(解像度数十キロ)の利用などがあったが、1kmという高解

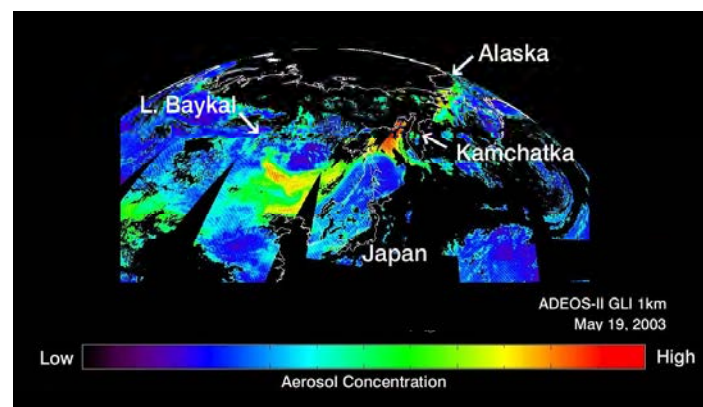


図5 ADEOS-II 衛星搭載 GLI センサーが観測した、2003 年 5 月 19 日の大気中エアロゾル濃度。近紫外チャンネル 380nm と 400nm を用いて抽出した。ロシア北東部からシベリアにかけて発生した森林火災の煤煙が、カムチャッカ半島を飛び越し、遠くアラスカまで到達している様子がわかる。ADEOS-II は4日回帰の太陽同期極軌道衛星で、搭載される GLI は 380nm から 12μm の間に 36 チャンネルを有す。直下視での空間解像度は、250m(6 チャンネル)あるいは 1km(30 チャンネル)である。

像度で全球規模を短時間で観測できる点が新しい。近紫外波長を用いることで、太陽光の陸上反射成分の影響を小さくしつつ、陸上を浮遊するエアロゾルの濃度を検知することが出来る。図5は、2003年5月19日におけるシベリア森林火災の煤煙の広がりの様子を示すものである。ロシア東部からシベリアにかけて発生した森林火災の煤煙が、カムチャッカ半島を大きく通り過ぎ、アラスカ周辺まで到達している様子が観測された。近紫外波長を2波長用いることで、エアロゾルの光学的厚さと単散乱アルベドを推定するアルゴリズムも開発された(Hoeller,2003a,2003e,2003f,2004b)。衛星データの利用の際には、衛星データの校正值の研究も進められた(Hoeller,2003d)一連のAPEX研究によって、海上限定であったエアロゾル観測を陸上域にまで拡張することができ、エアロゾル輸送モデルと観測の比較という目標に向けて大きく前進した。

(3) 雲の特性

MODISセンサーの0.865 μm 、3.7 μm 、10.8 μm チャンネルを用いることで、雲の光学的厚さ、雲粒有効半径(μm)、雲頂温度(K)が推定される。解析アルゴリズムには、ADEOS-II搭載GLIセンサーのために開発されたアルゴリズム(Nakajima T.Y and Nakajima T. 1995, Kawamoto et al. 2001)をMODISデータに適用した。前述のように、毎観測のデータは衛星データ解析システムによって即時解析されウェブページ上に公開された。図6は、このようにして得られた毎観測の雲物理量を2003年3月～4月の2ヶ月で平均したものである。中国大陸から台湾、そして太平洋にかけて、雲の光学的厚さが大きくなっていることがわかる。それに対応する領域で、雲粒有効半径が小さくなっていた。この季節の本領域には大陸ダストおよび硫酸粒子等の人為起源エアロゾルが大量に流れ込み、雲凝結粒子(CCN)として大気中に放出された結果をうけての雲特性となっている可能性がある(Nakajima T.Y. 2003a, 2003b, 2003c)。その他にも、TRMM衛星に搭載された可視赤外イメージャーVIRSとマイクロ波放射計TMIの複合解析アルゴリズムの開発も行い、VIRSから求められる雲粒有効半径およびVIRSとTMIから求められる雲全体の有効半径から、観測された雲の降雨性と霧雨の状態を推定する手法を開発し、雲から霧雨までの領域が観測対象となった(増永 2000, Masunaga 2001,2002a, 2002b)。このようにしてAPEXプロジェクトから得られた雲特性に関する多くの知見は、次世代の雲観測衛星EarthACAREに反映さ

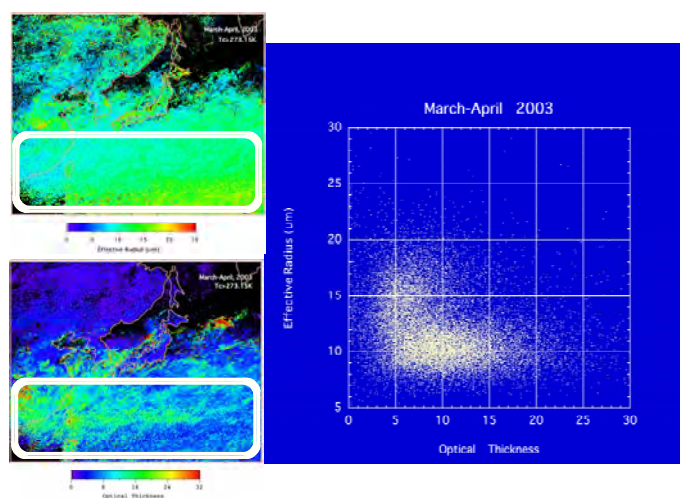


図6 MODIS から得られた雲の光学的厚さ(左上図)と雲粒有効半径(左下図)の2003年3月～4月の2ヶ月平均と、□で囲まれた領域における両者の相関(右図)。

せるなど、次につながる活動に役立てられた(Nakajima T.Y. 2002b)。

APEXモデル班との共同作業として、Takemura et al. (2002)によって開発されたSPRINTARSモデルによる雲粒有効半径との比較を試みた。図7は衛星観測(a)およびSPRINTARS(b)から得られた雲粒有効半径である。陸上で値が小さく、海洋上で大きい、および台湾から東の太平洋上にかけて小さな有効半径の領域が広がっている様子が一致

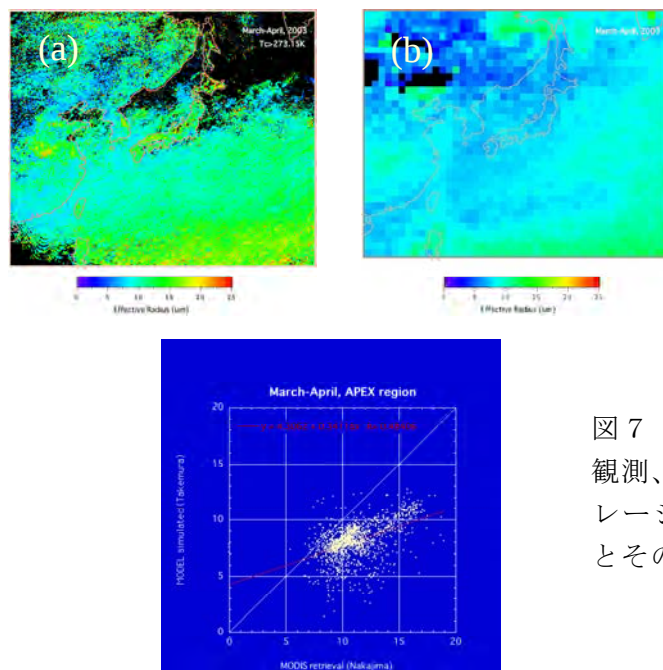


図7 Terra搭載MODISセンサーによる観測、およびSPRINTARSモデルシミュレーションから得られた雲粒有効半径とその相関。定性的な一致が見られる。

している。両者の相関をとってみると、衛星観測の値が大きめの傾向を持つものの、相関は強い。その他、NHMモデルと衛星との比較も行った(井口 2003)。このようにしてモデルの検証として衛星データの利用を行った事例は少なく、本研究課題による比較は重要なものの一つとなろう。

次に航空機観測との比較による衛星データの検証を試みた。図8はAPEX-E2観測期間中の2001年4月27日に行われた航空機との同期観測の結果である。FSSPを搭載したB200 King Air航空機は鹿児島府の南方沖に現れた層積雲の雲頂から雲底にかけて斜めに雲を貫くように飛行しながらFSSPによる雲粒有効半径のin-situデータの収集を行った。ほぼ同時刻にTerra/MODISが同領域の観測を行い、雲頂においてin-situデータと衛星観測による雲粒有効半径が一致することが確認された。これにより衛星観測が信頼できることが示され、前述のモデル検証に衛星データを活用することの妥当性を示す。

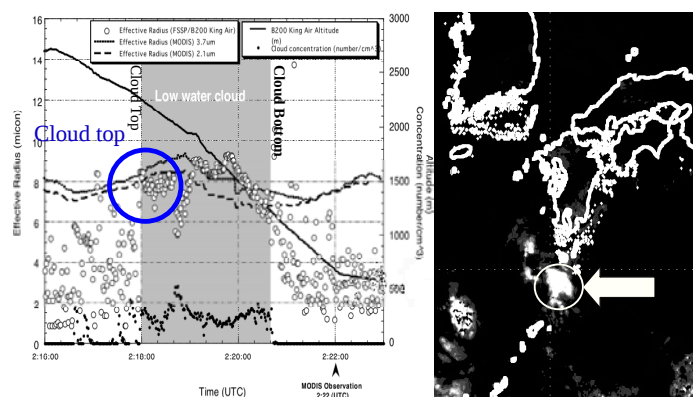


図8 2001年4月27日に鹿児島の南岸沖に現れた層積雲(右図)と、航空機搭載 FSSP および衛星観測(MODIS)から得られた雲粒有効半径の結果(左図)。雲頂において航空機と衛星の結果が一致していることがわかる。

(4) 成果から期待される効果と結論

APEX研究課題の目標のひとつは、アジア領域におけるエアロゾルと雲に関する地上観測、航空機観測、衛星観測、モデルシミュレーションの整合したデータセットを作成することである。以上に述べてきたように、本目標はほぼ達成されたと思われる。今後、それぞれにおける再解析を適宜行うことにより、さらにデータ間の整合性を高めることが出来る。今後の課題としては、雲レーダーやLidar等のアクティブセンサーと衛星観測の相互比較による雲エアロゾルの鉛直情報の取り込み、陸上エアロゾル特性の広域推定、雲・エアロゾル特性推定における粒子の非球形性の考慮、雲特性の多波長観測による不均質生の抽出、全球規模での雲・エアロゾル場の観測地とモデルシミュレーションとの比較、等があり、これらの課題についてもAPEXプロジェクト期間中に得られた貴重な観測データを活用することができる。

本節最初に述べた新規開発の衛星データ準リアルタイム処理システムでは、一連の集中観測が終了した現在においてもデータ解析と公開が続けられており、将来にわたる継続運用が予定されている。気候変動研究においては、長期間のデータセットが非常に貴重なものとなるため、すなわちAPEXプロジェクトからの貢献は今後とも継続されることになる。APEX衛星観測班からは他の班との共同作業により学会や学術論文による研究成果の発表が多数なされており、これらの成果が系統的にまとめられることで、さらにエアロゾルの間接効果の理解が進むことが期待される。

参考文献

- Higurashi, A., and T. Nakajima, 1999: Development of a two channel aerosol retrieval algorithm on global scale using NOAA AVHRR. *J. Atmos. Sci.*, **56**, 924-941.
- Higurashi, A., T. Nakajima, B. N. Holben, A. Smirnov, R. Frouin, and B. Chatenet, 2000: A study of global aerosol optical climatology with two channel AVHRR remote sensing. *J. Climate*, **13**, 2011-2027.

- Higurashi, A., and T. Nakajima, 2002: Detection of aerosol types over the East China Sea near Japan from four-channel satellite data. *Geophys. Res. Lett.*, 29(17), 1836, doi:10.1029/2002GL015357.
- Hoeller, R., A. Higurashi, T. Nakajima, and T. Y. Nakajima, 2003a. Retrieval of aerosol optical thickness and single-scattering albedo over land from GLI, Proceedings of the 35th Conference of the Remote Sensing Society of Japan, 7-10, November 26-27, Nagaoka, Japan.
- Hoeller, R., A. Higurashi, T. Nakajima, T. Y. Nakajima, 2003b. A method for satellite remote sensing of aerosols over land surfaces using GLI's UV-Channel. Proceedings of the IUGG2003 conference, Abstract MI02/02A/B17-009, Sapporo, Japan.
- Hoeller, R., 2003c: Remote sensing of aerosols from GLI using near-UV channels, Proc. of the 21th Annual meeting of the Japanese Association of Aerosol Science and Technology, Sapporo, Japan, 83-84.
- Hoeller, R., J. Nieke, I. Asanuma, M. Hori, H. Murakami, and T. Aoki, 2003d. GLI vicarious calibration using selected ocean and snow ground sites. Proc. SPIE, 4892, 618-626.
- Hoeller, R., K. Ito, S. Tohno, and M. Kasahara, 2003e. Wavelength dependent aerosol single-scattering albedo: Measurements and model calculations for a coastal site near the Sea of Japan during ACE-Asia, *J. Geophys. Res.*, 108, D23, 8648, doi:10.1029/2002JD003250.
- Hoeller, R., 日暮朋子、中島映至、中島孝, 2003f: GLI による陸域エアロゾルの光学的厚さと単一散乱アルベドのリモートセンシング、日本リモートセンシング学会第35回学術講演会, A3, (Nagaoka, Japan)
- Hoeller, R., A. Higurashi, K. Aoki, and H. Fukushima, 2004a. Remote sensing of boreal forest fire aerosol in Eastern Asia from ADEOS-2/GLI during spring 2003, Proc. SPIE, 5571, in press.
- Hoeller, R., A. Higurashi, and T. Nakajima, 2004b. The GLI 380-nm channel - Application for satellite remote sensing of tropospheric aerosol, Proc. EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Prague.
- Hoeller, R., N. Kikuchi, A. Higurashi, T. Nakajima, T. Y. Nakajima, and T. Igarashi, 2004c. Remote sensing of the atmospheric particle environment from ADEOS-2/GLI, Proceedings of the 2004 IEICE General Conference, 47-48, Tokyo, Japan.
- 井口享道, 中島映至, 斉藤和雄, 中島孝, 2003: APEX E-2 雲観測データによる雲解像モデル結果の検証, 日本気象学会春季大会, P267, (Tsukuba, Japan)
- Kawamoto, K., T. Nakajima, and T. Y. Nakajima, 2001: A Global Determination of Cloud Microphysics with AVHRR Remote Sensing, *Journal of Climate*, 14, 2054-2068.
- 増永浩彦・中島孝(NASDA/EORC)他4名, 2000: VIRS/TMI による多波長雲観測, 日本気象学会秋季大会, B108, (Japan)
- Masunaga, H., T. Y. Nakajima, M. Kachi, R. Oki, T. Nakajima, S. Kuroda, 2001: Cloud Observation by Visible/Infrared Imager and Microwave Radiometer, *CERES International Symposium*, (Chiba University, Japan)
- Masunaga, H., T. Y. Nakajima, T. Nakajima, M. Kachi, R. Oki, and S. Kuroda, 2002a: Physical Properties of Maritime Low Clouds as Retrieved by Combined Use of TRMM

- Microwave Imager and Visible/Infrared Scanner. I. Algorithm. *Journal of Geophysical Research*, 107, AAC1, doi:10.1029/2001JD000532
- Masunaga, H., T. Y. Nakajima, T. Nakajima, M. Kachi, and K. Suzuki, 2002b: Physical Properties of Maritime Low Clouds as Retrieved by Combined Use of TRMM Microwave Imager and Visible/Infrared Scanner. II. Climatology of Warm Clouds and Rain. *Journal of Geophysical Research*, 107, doi:10.1029/2001JD001269,
- Nakajima T. Y. and T. Nakajima, 1995: Wide-area determination of cloud microphysical properties from NOAA AVHRR measurement for FIRE and ASTEX regions, *Journal of Atmospheric Sciences*, 52, 4043-4059.
- 中島孝, Yi Liu , 日暮明子, 中島映至, 内山明博, 2001a, MODIS が観測した APEX-E1 期間中の雲・エアロゾル, *日本気象学会春季大会*, A360, (Japan)
- Nakajima, T. Y., 2001b: Report from APEX satellite remote sensing group, *3rd APEX workshop*, (Sapporo, Japan)
- Nakajima, T. Y., H. Masunaga, Y. Liu, A. Higurashi, T. Takamura, T. Nakajima, 2001c: Interim Results from APEX Satellite Remote Sensing Group, *4th APEX workshop*, (Kyoto, Japan)
- 中島 孝, Yi Liu , 日暮明子, 増永浩彦, 中島映至, 高村民雄, 内山明博, 2001d: ACE-Asia 期間中の衛星による雲・エアロゾル観測 , *日本気象学会秋季大会*, C162, (Japan)
- Nakajima, T. Y., A. Higurashi, H. Masunaga, 2002a: Comparison of cloud parameters between satellite measurements and airborne/ground measurements, *5th APEX workshop*, (Miyazaki, Japan)
- Nakajima, T. Y., 2002b : Possible applications derived from a passive imager, *1st EarthCARE workshop*, (Tokyo, Japan)
- Nakajima, T. Y., T. Nakajima, H. Masunaga, A. Higurashi, and Y. Liu, 2002c, Cloud and aerosol retrievals from ADEOS2/GLI and other sensors, *IGARSS 2002*, (Tronto, Canada)
- Nakajima, T. Y. and T. Nakajima, 2002d: MULTI-CHANNEL ANALYSES OF WARM CLOUD DROPLET SIZE FOR GLOBAL SCALE, *AMS 11th Conference on Atmospheric Radiation, 11th Conference on Cloud Physics*, (Ogden, Utah, USA)
- Nakajima, T. Y., 2003a : Cloud parameters obtained from satellite remote-sensing during APEX-E3, *6th APEX-RIHN workshop*, (Hyogo, Japan)
- Nakajima, T. Y., 2003b : Earth Views, the Global Imager, *6th APEX-RIHN workshop*, (Hyogo, Japan)
- Nakajima, T. Y., 2003c: Cloud distributions and properties around Asian Pacific region derived from satellite remote sensing, *Asian Pacific Radiation Symposium 2003*, (Xian, China)
- Nakajima, T. Y., T. Nakajima, H. Murakami, R. Hoeller, and T. Iguchi, 2003d. New results from ADEOS-II/GLI, *Proc. SPIE*, 5234, 517-524.
- 中島孝、中島映至、2003e: Midori-II 搭載 GLI が観測した雲特性、*日本リモートセンシング学会第35回学術講演会*, A2, (Nagaoka, Japan)
- 中島孝、中島映至、内山明博、高村民雄, 2003f: 宇宙から観測した雲特性, *日本気象学会春季大会*, C154, (Tsukuba, Japan)
- Nieke, J., M. Hori, R. Hoeller, I. Asanuma, and T. Aoki, 2003, Satellite sensor-inter-calibration - A case study for 28 March 2002, *ESA Proceeding*, ESA-SP 531, Envisat Validation

Workshop, ESRIN, Frascati, Italy.

- Takemura, T., T. Nakajima, O. Dubovik, B. N. Holben, and S. Kinne, 2002: Single-scattering albedo and radiative forcing of various aerosol species with a global three-dimensional model. *J. Climate*, 15, 333-352
- Yabe, T., R. Hoeller, S. Tohno, and M. Kasahara, 2003. An aerosol climatology at Kyoto: Observed local radiative forcing and columnar optical properties. *J. Applied Meteor.*, 42, 6, 841-850.
- Zagolski, F., R. Hoeller, R. Santer, and J. Fischer, 2004. Radiative Transfer Intervalidation Report for ADEOS-2/GLI, EORC Bulletin/Technical Report, No. 14, ISSN 1346-7913, pp.183.

4. 7 モデリングによる結果

竹村俊彦。鵜野伊津志（九州大学応用力学研究所）

（1）モデリングシステムの概要

APEX モデリンググループでは、他の観測・リモートセンシンググループによる結果との比較・検証を通して、地域気象モデルをベースとした化学天気予報システム CFORS (Chemical Weather Forecasting System)の改良と、全球気候モデルをベースとしたエアロゾル輸送・放射モデル SPRINTARS (Spectral Radiation Transport Model for Aerosol Species)の開発・改良を行った。

SPRINTARS は CCSR/NIES/FRCGC の大気大循環モデルと結合し、全球規模のエアロゾル輸送・放射過程を考慮することにより、エアロゾル直接・間接効果による放射強制力及び気象場の変化を計算することが可能である（CCSR:東京大学気候システム研究センター, NIES:国立環境研究所, FRCGC:地球環境フロンティア研究センター）(Takemura et al., 2000, 2002a, 2004)。解像度は水平方向が 128×64 （約 2.8 度）若しくは 320×160 （約 1.1 度）、鉛直方向が 20 層である。輸送過程に必要な気象場は、大気大循環モデルによる出力を使用できるが、事例解析等の場合には外部気象データを用いたナッジングにより得ることも可能である。放射過程では、各エアロゾルの吸湿成長・粒径分布・波長別複素屈折率を考慮して、エアロゾル光学特性及び直接効果放射強制が計算される。また、Kohler 理論に基づいたパラメタリゼーションを用いることにより、エアロゾル・雲相互作用を導入している。これは、エアロゾル数濃度の他にエアロゾルの粒径分布・化学特性や上昇流速から、雲粒数濃度を診断するものである(Abdul-Razzak and Ghan, 2000)。雲粒径や降水効率を診断された雲粒数濃度から計算することにより、第 1 種・第 2 種間接効果が考慮される。

CFORS は RAMS (Regional Atmospheric Modeling System)と結合し、アジア域のエアロゾル（土壌粒子・海塩・硫酸塩・黒色炭素 (BC)・有機炭素 (OC)）や二酸化硫黄・一酸化炭素・炭化水素の一連の輸送過程（発生・移流・拡散・除去）を詳細に計算することができる。CFORS では、気象モデルの 3 次元の気象成分（温度、水蒸気、風速・風向、降水、降雪、雲など）の気象情報をモデル内でオンラインに利用して、化学物質の輸送、拡散、反応、除去過程を計算する。エアロゾルはすべて外部混合を仮定し、粒子の凝集・併合による成長は無視している。トレーサの格子点配置には、Arakawa C グリッドを用い、移流拡散の計算は、RAMS に組み込まれた正定符合の移流スキームを用いる。水平拡散係数は数値的な拡散を最小にするように気象変数とは別に設定した。積雲対流は物質の鉛直輸送・拡散に大きな効果がある。そのため、RAMS の Kuo 積雲スキームで診断された雲底・雲頂間の拡散係数を擬似的に大きく設定し、鉛直混合を調整した。CFORS では、エアロゾル濃度だけでなく、500nm の光学的厚さと単散乱アルベドも Takemura et al. [2000]に従って算出した。APEX 観測期間の予報・再現計算はアジア域を水平 80 km 格子、鉛直 23 層で行った。

CFORS では、人為起源汚染物質の発生源は、米国アルゴンヌ国立研究所 D. Streets とアイオワ大学 G.R. Carmichael の作成した緯度経度 $1^\circ \times 1^\circ$ 分解能の推計値 (<http://www.cgrer.uiowa.edu/ACCESS>)を用いた。焼き畑に伴う大量の BC, OC 等の発生はアジア域のエアロゾルの輸送解析に不可欠である。Woo et al.[2003]は AVHRR の hot spot データをもとに、焼き畑に伴う CO, BC, OC の日単位の発生量を ACE-Asia 観測期間に

について求めている。CFORS では、ACE-Asia 観測期間の解析には Woo et al.の結果を用いた。これらの発生源の強度と分布は SPRINTARS が用いているものとは異なっている。CFORS についての小詳細は Uno et al.(2003a, 2003b)を参考にされたい。

(2) SPRINTARS による APEX-E2 の解析結果

図 1 には、APEX-E2 期間中である 2001 年 4 月に発生した大規模黄砂現象時の衛星観測 (TOMS aerosol index) 及び SPRINTARS によるアジア・太平洋域のエアロゾル分布を示す。TOMS は紫外線を吸収するエアロゾルである土壌粒子や BC を検出することが可能であり、図 1(a)では黄砂が太平洋を横断して北アメリカへ到達している様子が分かる。衛星観測で捕らえられた黄砂の輸送過程の時空間パターンは、SPRINTARS によって非常に良く再現されている (図 1(b))。また、東アジア域から放出された硫酸塩や BC, OC といった人為起源エアロゾルも同時に太平洋へ輸送されていることが SPRINTARS によりシミュレートされており、アジア域の新たな越境汚染の問題を示唆している。

図 2 には、APEX 衛星リモートセンシンググループによる APEX-E2 期間中の SeaWiFS から解析されたエアロゾルの光学的厚さ及びオングストローム指数と SPRINTARS との比較を示す。SeaWiFS 解析では晴天域のみの解析であるために SPRINTARS と比較して光学的厚さを過大評価している部分はあるものの、時間変動は光学的厚さ・オングストローム指数ともに妥当な一致をみている。図 1 で示した大規模黄砂時の 4 月 10 日前後では、日本海や太平洋でオングストローム指数において両者での一致度が高いことから (図 2(c) (d))、大粒子である黄砂と小粒子である人為起源エアロゾルとの混合比率が SPRINTARS により上手く再現されていることが裏付けられる。

エアロゾルの気候影響をモデルにより適切に評価するためには、水平方向の分布だけではなく、鉛直分布を検証することも重要である。図 3 には、APEX アクティブセンサグループによる APEX-E2 期間中の北京におけるライダー観測と SPRINTARS との結果を示す。3 月中旬・4 月上旬・4 月下旬から 5 月上旬・5 月下旬にエアロゾル消散係数が観測・モデルともに高くなっており、黄砂の飛来が捕らえられている。エアロゾルは通常時には高度 1.5km 以下に集中するが、黄砂の飛来時にはより高高度にまでエアロゾルが輸送されることが示されている。

SPRINTARS とその他の様々な観測との比較が行われており、定量的に信頼できるモデルが構築できた(Takemura et al., 2002a, 2003)。

(3) CFORS による APEX-E2 及び ACE-Asia 期間の解析

図 4 は中国北東部 (NC)、北日本 (NJ)、日本海 (JS) における TOMS Aerosol Index(TOMSAI) の時間変化と CFORS による各成分(ダスト、硫酸塩+海塩粒子、炭素性エアロゾル)の AOT とそれらの合計である全 AOT の時間変化を比較したものである。ここで、TOMSAI とは紫外域に放射吸収特性を持つダストや黒色炭素等を探知する衛星搭載センサによって計測されたエアロゾル指数である。また、比較は衛星の軌道による欠損値を考慮して行った。図から全ての領域で、TOMSAI と全 AOT の時間変化が非常に良く一致している事がわかる。特に、ダスト到来時の両者の相関は非常に高い。

北京を含む NC 領域に関して、CFORS 全 AOT への寄与はダストによるものが大部分を占めていた。それに対して、NJ や JS 領域での CFORS 全 AOT への寄与はダストだけでなく、硫酸塩+海塩粒子や炭素性エアロゾルによる寄与も増大している。特に、95-101

日の間、ダスト、硫酸塩+海塩粒子、炭素性エアロゾルの3つの成分が同時期に到来し、比較的高レベルのAOTを示しており、日本付近の大気環境を著しく悪化させていた事がわかる。これは大陸で発生したダストや硫酸塩、炭素性エアロゾルが高・低気圧の移動に伴い、大陸から流出し、日本域に輸送されてきたものと考えられる。図4の比較の結果はCFORSがアジアスケールのエアロゾルの輸送過程を正確に表現出来ることを示している。

図5には、2001年3、4月の4地点（利尻、佐渡、八丈、奄美大島、父島）でのBCの測定結果とモデルの比較を示す[Uno et al., 2003b, Matsumoto et al., 2003]。ここで、実線はBCの全ての発生源を含む結果、点線は焼き畑起源のBCの発生をオフにした結果であり、一点破線はRAMSで計算された風向を示している。図からCFORSによるエアロゾル濃度の再現性が非常に優れていることが判る。

図5からBC濃度についても、CFORSの結果は観測された濃度の時間変動を再現していることが自明である。しかし、幾つかの不一致も見られる。例えば利尻での107日（4月17日）のBCのピーク濃度がモデルでは表現されていない点である。図5からモデルが幾つかのケースについて過大評価している点が判る。例えば、93-95日、96日、104日の利尻であり、その前後には降水が観測されていることから、モデルで仮定しているBCの洗浄係数の設定に再検討の必要性が考えられる。図中に点線で示した焼き畑起源をオフにした感度解析は非常に重要な情報を与える。各観測点における焼き畑起源のBCの寄与は地上濃度で、南から父島、八丈、佐渡、利尻でそれぞれ、32、21、14、16%で東南アジアに近い低緯度ほどのその影響を受けていることが明瞭に示されている[Uno et al., 2003b]。

アジア域には様々なエアロゾルの発生源があり、エアロゾルの輸送は複雑である。図6には、2001年3、4月のACE-Asia特別観測期間のエアロゾルの収支を示す。土壌性ダストについては、期間中直径 $40\mu\text{m}$ 以下の粒子について、 105Tg (105Mton)の発生があり、そのうち33%が乾性沈着、27%が重力沈降、9%が湿性沈着で除去されている。湿性沈着量が少ないのは、期間中のダスト発生域を含む中国北東部にかけて、降水が少ないためである。全炭素性エアロゾル($\text{TC}=\text{BC}+\text{OC}$)については、発生量が 3.07Tg （人為起源で 1.63Tg 、焼き畑で 1.44Tg ）があり、乾性沈着で16%が、湿性沈着で5%が除去される。乾性沈着量が少ないのは、発生量の47%を占める焼き畑起源のTCが自由大気に流入し上空を輸送されるためである。そのため、東側の境界を超えて北西太平洋に50%のTCが輸送されている。

（4）放射強制力と雲・降水変化

エアロゾルの気候に対する影響の目安となる放射強制力のSPRINTARSによるシミュレーション結果の全球分布を図7に示す。現在と産業革命以前のエアロゾル排出量を用いた2つの実験の差を人為起源エアロゾルの影響とする。大気上端での直接効果放射強制力は、東アジア・ヨーロッパ・北アメリカでは、BCの温室効果よりもOCや硫酸塩の冷却効果の方が勝り、 -1 W m^{-2} を超えている。また、アフリカ中部やアマゾン域でも森林火災起源エアロゾルの影響で大きな負の強制力となっている。一方、森林火災や都市起

源のBCやOCが流出している地域では、正の直接効果放射強制力となっている。これは、低層雲中や上部にエアロゾルが存在すると、雲により多重散乱された光をもエアロゾルが吸収してしまうためである(Takemura et al., 2002a)。地表での直接効果放射強制力は全球的に負となっており、人口過密地域や森林火災地域で特に冷却が強い(図7(b))。間接効果放射強制力は、2実験間で水蒸気輸送や降水のパターンが異なるために(後述)、正負が混在しているが、北半球中緯度では概ね負の強制力となっている(図7(c)(d))。表1には、全球・陸上・海上・アジア平均の直接・間接効果放射強制力を示す。直接効果に関しては、エアロゾルの種類毎に評価を行っている。大気上端の全球平均値では、BCによる正の強制力とOC・硫酸塩合計による負の強制力がほぼ均衡しており、硫酸塩は -0.20 W m^{-2} と、IPCC第3次報告書の最小値と同等であると見積もった。地表においては、BCはOCや硫酸塩よりも強い冷却効果を持っていることを示している。間接効果放射強制力は大気上端で -0.85 W m^{-2} と計算された。また、直接・間接効果放射強制力の絶対値は、いずれのエアロゾル種においても、陸上の方が約2倍の大きさであると評価した。アジア域平均では、全球平均よりも大きい放射強制力の値を示しており、人為起源物質の影響が大きく現れている地域であることを示唆している。

人為起源エアロゾルによる気候影響の具体的なシミュレーション結果として、雲量及び降水量の変化を図8に示す。また、全球・陸上・海上・アジア平均値を表2に示す。この実験には、エアロゾル直接効果及び第1種間接効果による気温変化等に誘発された水循環の変化が含まれているために、多くの地域では、雲量が減少(増加)すると降水量も減少(増加)する傾向にある。しかし、人為起源の影響が強い北半球中緯度、特にアジア域では、雲量増加と降水量減少が同時に見られ、エアロゾル第2種間接効果のシグナルがシミュレートされた。

(5) 成果から期待される効果と結論

APEX モデリンググループでは、他の観測関連グループによる結果との比較を通して、CFORS 及び SPRINTARS によるエアロゾル分布のシミュレーションの精度向上を行ってきた。黒色炭素成分については用いる発生源インベントリーと測定手法により両者のモデルの濃度に違いが見られた。さらに、SPRINTARS を用いて、エアロゾルの気候に対する影響評価を具体的に行った。

これらの研究により、依然として不確定性の高い気候変動予測の制度改善に寄与するモデルが構築されたとと言える。今後は、発生源インベントリーの感度解析、様々なエアロゾルの混合状態(内部混合、外部混合)のモデル化、精密なビンを用いた雲解像度モデルを用いたエアロゾルと雲生成過程・大気放射との相互作用の更なる研究などが必要である。

参考文献

- Abdul-Razzak, H., and S. J. Ghan, 2000: A parameterization of aerosol activation 2. Multiple aerosol type. *J. Geophys. Res.*, 103, 6123-6131.
- Matsumoto, K., M. Uematsu, T. Hayano, et al.(2003): Simultaneous measurements of particulate elemental carbon on the ground observation network over the western North Pacific during the ACE-Asia campaign, *J. Geophys. Res.*, 2002JD002744.
- Satake, S., I. Uno, T. Takemura, et al.(2004): Characteristics of Asia aerosols transport simulated

- with the regional scale chemical transport modeling during the ACE-Asia period, *J. Geophys. Res.*, 2003JD003997.
- Streets, D. G., T.C. Bond, G.R.Carmichael et al.(2003): A-year 2000 inventory of gaseous and primary aerosol emission in Asia to support TRACE-P modeling and analysis, *J. Geophys. Res.*, 2002JD003253, 2003.
- Takemura, T., H. Okamoto, Y. Maruyama, A. Numaguti, A. Higurashi, and T. Nakajima, 2000: Global three-dimensional simulation of aerosol optical thickness distribution of various origins. *J. Geophys. Res.*, 105, 17853-17873.
- Takemura, T., T. Nakajima, O. Dubovik, B. N. Holben, and S. Kinne, 2002a: Single-scattering albedo and radiative forcing of various aerosol species with a global three-dimensional model. *J. Climate*, 15, 333-352.
- Takemura, T., I. Uno, T. Nakajima, A. Higurashi, and I. Sano, 2002b: Modeling study of long-range transport of Asian dust and anthropogenic aerosols from East Asia. *Geophys. Res. Lett.*, 29(24), 2158, doi:10.1029/2002GL016251.
- Takemura, T., T. Nakajima, A. Higurashi, S. Ohta, and N. Sugimoto, 2003: Aerosol distributions and radiative forcing over the Asian-Pacific region simulated by Spectral Radiation-Transport Model for Aerosol Species (SPRINTARS). *J. Geophys. Res.*, 108(D23), 8659, doi:10.1029/2002JD003210.
- Takemura, T., T. Nozawa, S. Emori, T. Y. Nakajima, and T. Nakajima, 2004: Simulation of climate response to aerosol direct and indirect effects with aerosol transport-radiation model. *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2004JD005029, submitted.
- Uno, I., G. R. Carmichael, D. G. Streets, et al.(2003a): Regional chemical weather forecasting system CFORS: Model descriptions and analysis of surface observations at Japanese island stations during the ACE-Asia experiment, *J. Geophys. Res.*, 108, 8668, doi:10.1029/2002JD002845.
- Uno, I., G. R. Carmichael, D. Streets, et al.(2003b): Analysis of surface black carbon distributions during ACE-Asia using a regional-scale aerosol model, *J. Geophys. Res.*, 108, 8636, doi: 10.1029/2002JD003252.

表 1: 人為起源エアロゾルによる大気上端及び地表での直接・間接効果放射強制力の陸上・海上・全球・アジア(90-160E, 20-60N) 平均値 ($W\ m^{-2}$)

	Top of the Atmosphere				Surface			
	Land	Ocean	Global	Asia	Land	Ocean	Global	Asia
BC	+0.65	+0.43	+0.42	+0.65	-1.29	-0.53	-0.75	-0.96
OC	-0.44	-0.20	-0.26	-0.25	-0.59	-0.26	-0.35	-0.31
Sulfate	-0.31	-0.15	-0.20	-0.67	-0.24	-0.13	-0.16	-0.57
Total	-0.10	+0.01	-0.04	-0.27	-2.12	-0.92	-1.26	-1.84

表 2: 人為起源エアロゾルによる雲量・降水量変化の陸上・海上・全球・アジア(90-160E, 20-60N) 平均値 (()内は変化率)

	Land	Ocean	Global	Asia
Cloud Cover	-0.007 (-1%)	-0.003 (-1%)	-0.005 (-1%)	0.003 (-1%)
Precipitation (mm/day)	-0.10 (-4%)	-0.11 (-4%)	-0.11 (-4%)	-0.26 (-10%)

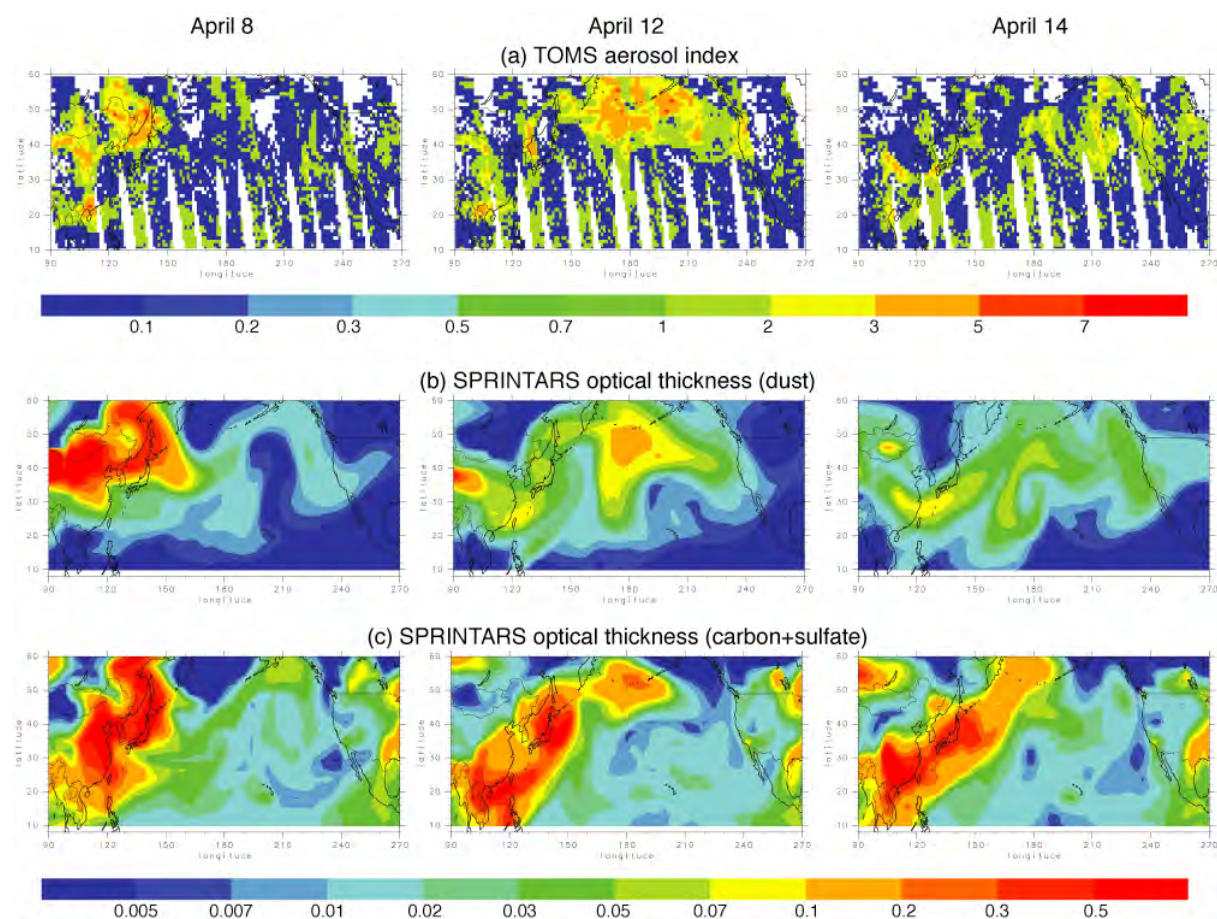


図 1: (a) TOMS aerosol index (b) SPRINTARS による土壌粒子の光学的厚さ (c) SPRINTARS による炭素性粒子及び硫酸塩合計の光学的厚さの 2001 年 4 月 8, 12, 14 日の月平均分布

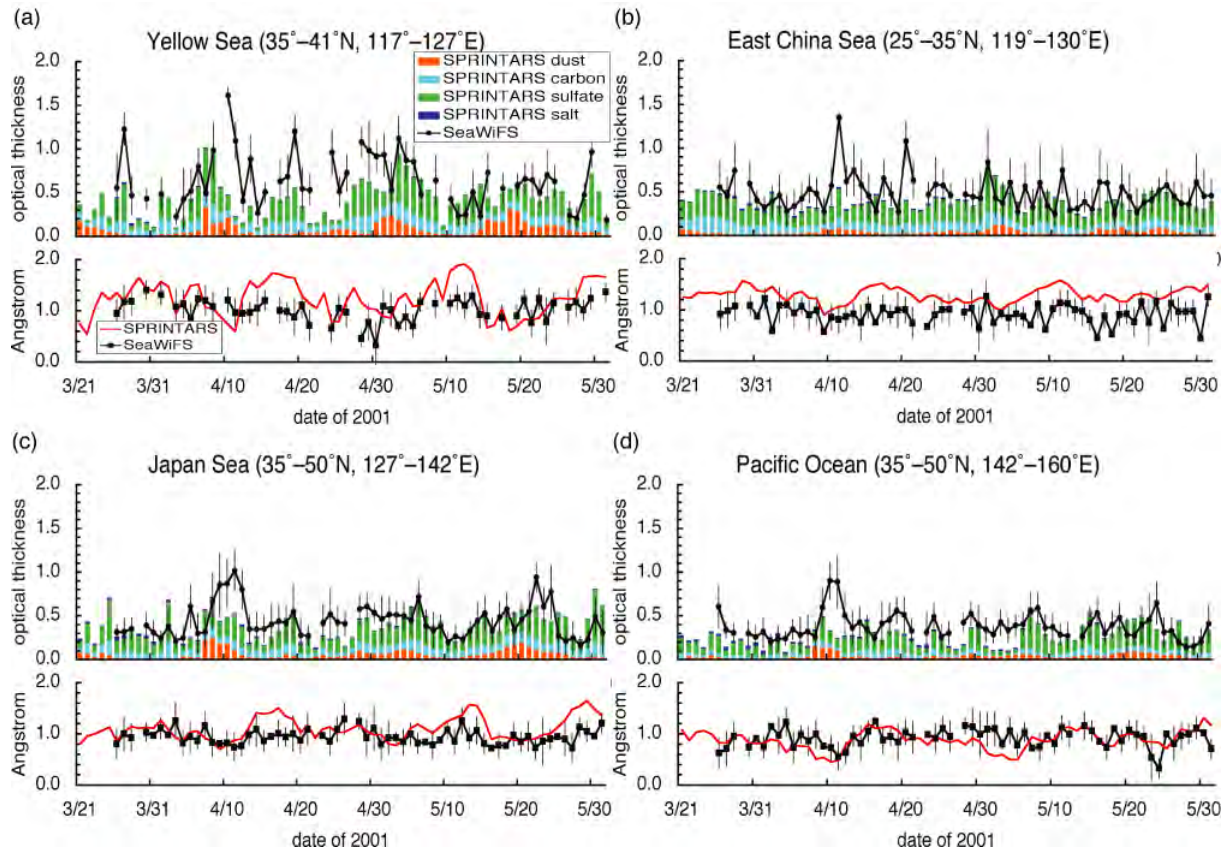


図2：2001年3、4、5月のSPRINTARSによる種類毎のエアロゾル光学的厚さ（柱状）・オンゲストローム指数（赤線）及びSeaWiFSによるエアロゾル光学的厚さ・オンゲストローム指数（黒線）の時系列（a）黄海（b）東シナ海（c）日本海（d）北西太平洋

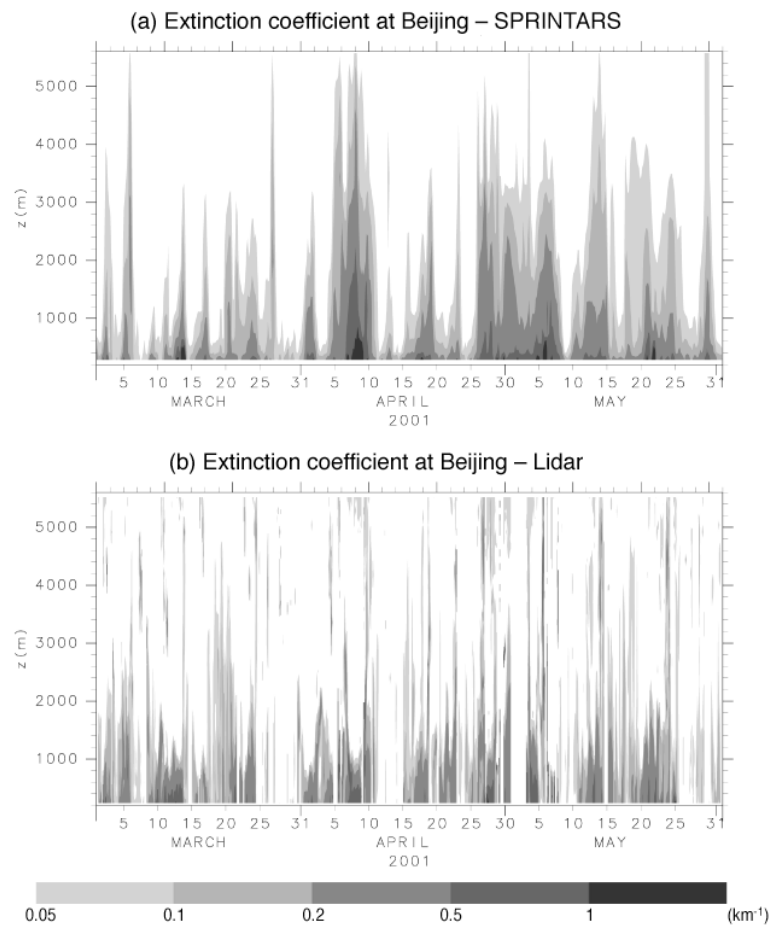


図3:2001年3, 4, 5月の北京におけるエアロゾル消散係数の鉛直分布 (a) SPRINTARS (b) ライダー観測

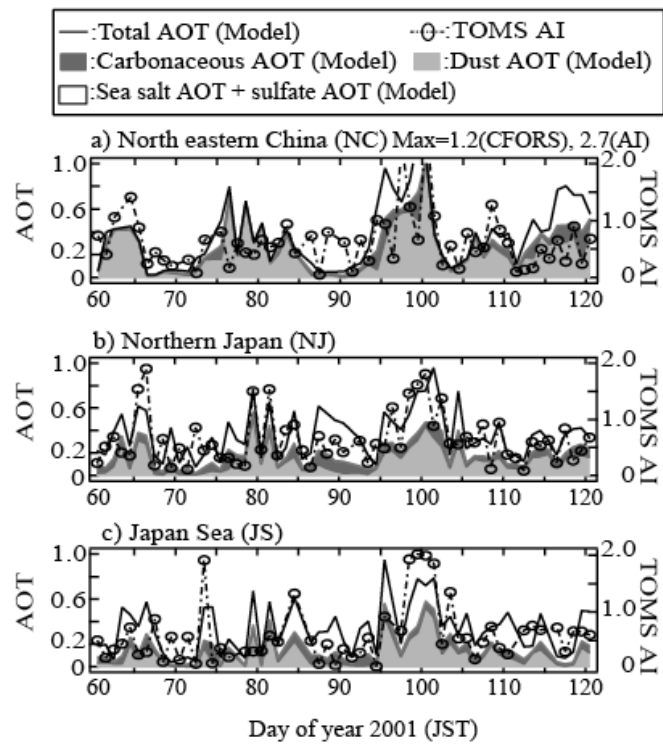


図 4 : CFORS で計算された各領域でのエアロゾル成分の光学的厚さと TOMS AI の時間変動。(a) 中国北部、(b) 北日本、(c) 日本海

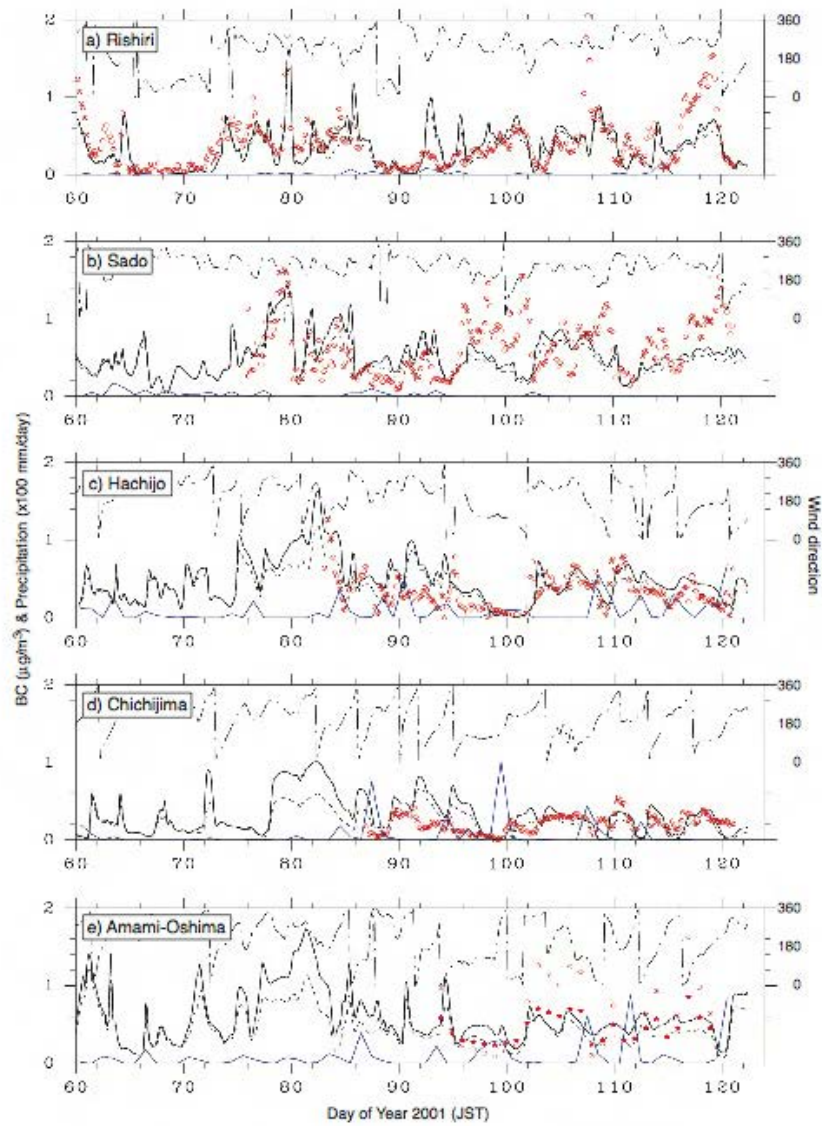


図 5 : 2001 年 3、4 月についての黒色炭素 BC の観測値と CFORS モデルの比較。○が観測結果、実線がモデルの結果、点線は焼き畑起源の発生をオフにした結果、一点鎖線は気象モデルによる風向。

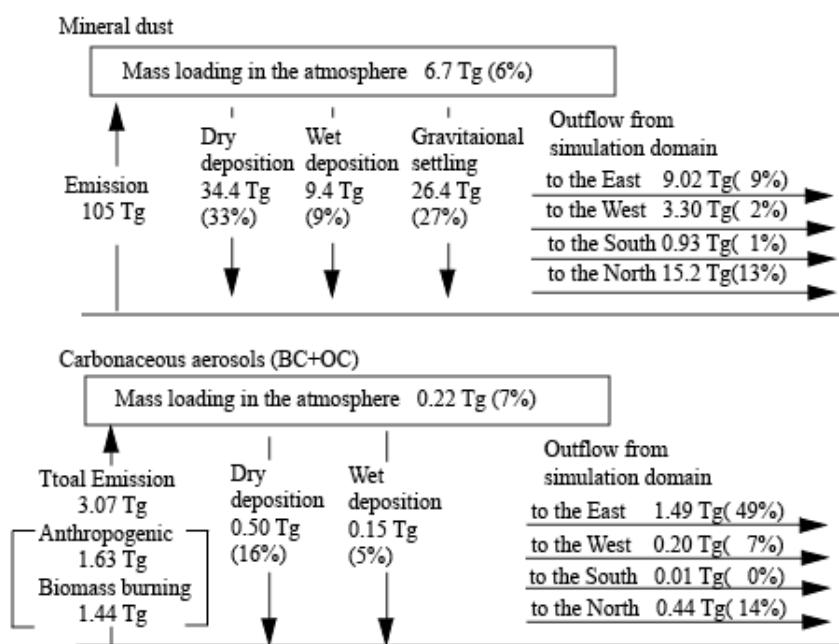


図6：RAMS/CFORS の計算領域内での 2001 年 3，4 月のダストと全炭素性エアロゾルの収支。

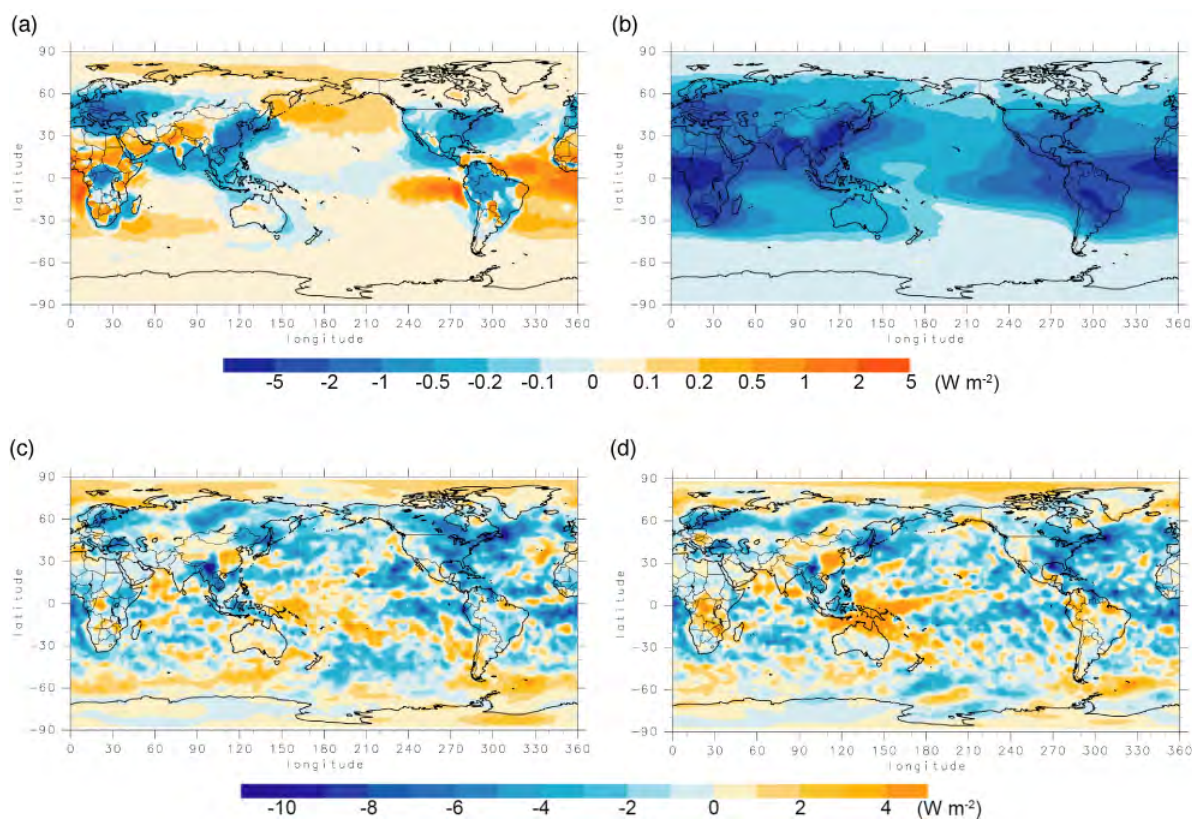


図7：人為起源エアロゾルによる放射強制力の全球分布 (a) 直接効果・大気上端 (b) 直接効果・地表 (c) 間接効果・大気上端 (d) 間接効果・地表

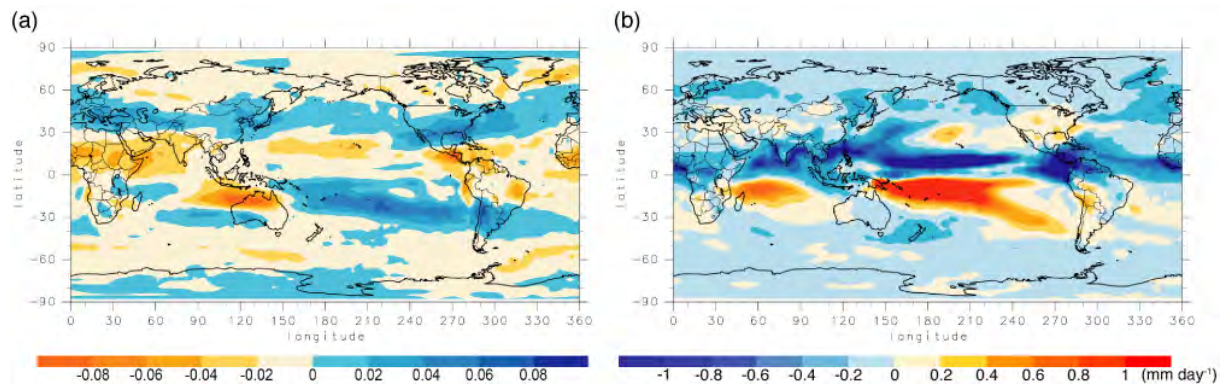
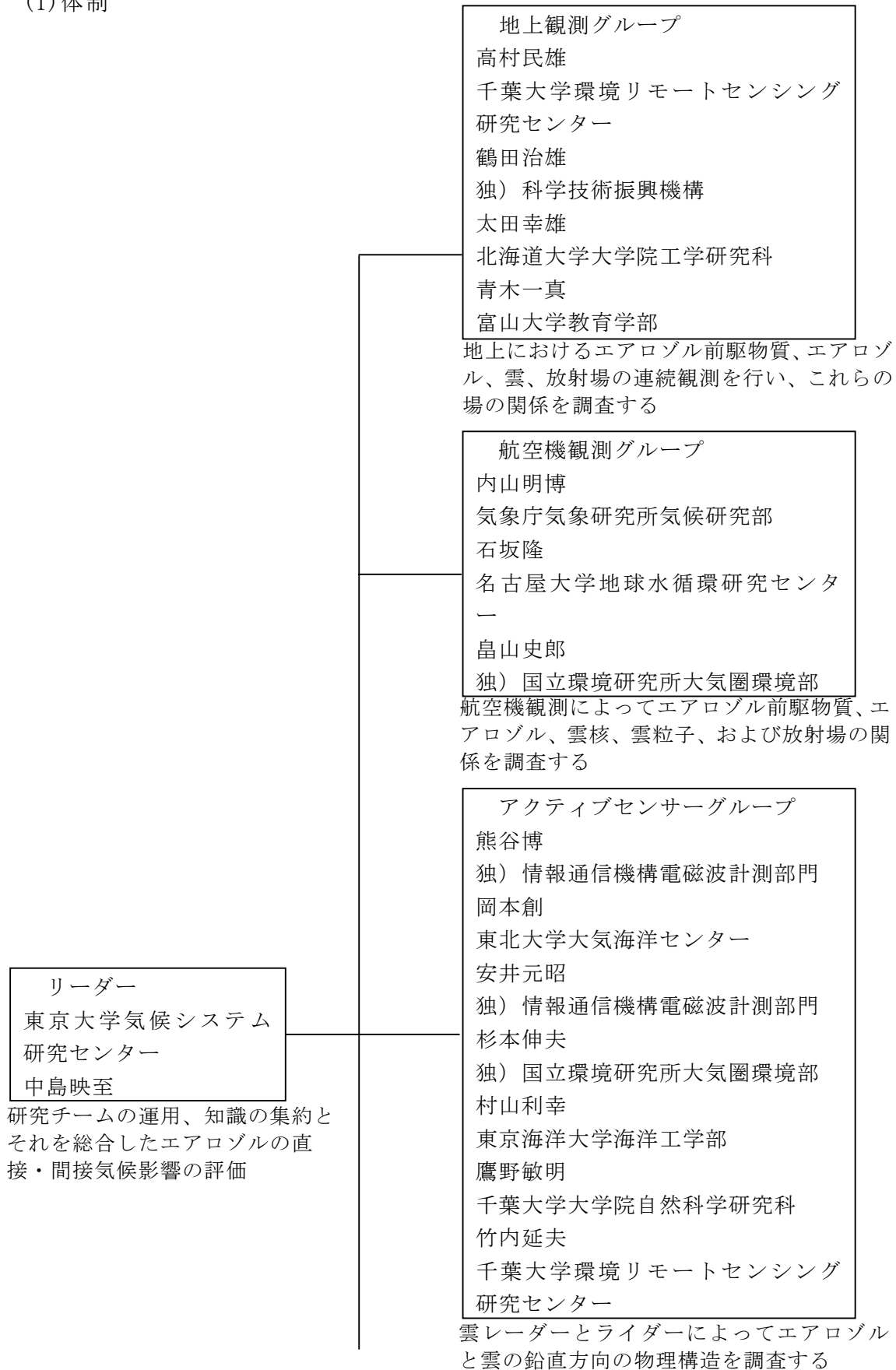


図 8：人為起源エアロゾルによる (a) 雲量変化 (b) 降水量変化

5. 研究実施体制

(1) 体制



衛星リモートセンシンググループ

中島孝

独) 宇宙航空開発機構地球観測利用
推進センター

日暮明子

独) 国立環境研究所大気圏環境部
向井苑生

近畿大学理工学部

Hoeller, Robert

独) 宇宙航空開発機構地球観測利用
推進センター

衛星リモートセンシングによって広域にお
けるエアロゾルと雲場の構造を調査する

大規模気候モデリンググループ

鵜野伊津志

九州大学応用力学研究所

藤吉康志

北海道大学低温科学研究所

大原利眞

独) 国立環境研究所 PM2.5・DEP 研
究プロジェクト

竹村俊彦

九州大学応用力学研究所

久芳奈遠美

独) 海洋研究開発機構地球フロンテ
ィア研究システム

数値モデルによってエアロゾルと雲の生成
メカニズムを再現することによって、人為起
源エアロゾルによって放射強制力と降雨能
率の変化を評価する

(2) メンバー表

①リーダークラウドグループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
中島 映至	東京大学気候システム研究センター	教授/センター長		H11.11～ H16.10
臼井 崇行	東京大学気候システム研究センター	研究補助員	地上データ収集システム	H12.5～H16.3
溝口 里美	東京大学気候システム研究センター	研究補助員	研究データの収集・解析	H12.1～H14.4
王 標	東京大学気候システム研究センター	CREST 研究員	レーダー研究支援	H13.8～H15.8
石井伊久美	東京大学気候システム研究センター	CREST 技術員		H15.4～H16.10
上野 菜穂	東京大学気候システム研究センター	研究補助員		H12.1～H16.10
鈴木健太郎	東京大学気候システム研究センター	研究補助員		H15.9～H16.10

②地上観測グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
高村 民雄	千葉大学環境リモートセンシング研究センター	教授	光学定数、放射収支	H11.11～ H16.10
鶴田 治雄	東京大学気候システム研究センター	研究補助員	ガス・エアロゾル化学	H11.11～ H16.10
山中 大学	神戸大学大学院自然科学研究科	教授		H11.11～H13.3

岡田 格	千葉大学環境リモートセンシング研究センター	CREST 研究員		H12.4～H16.10
太田 幸雄	北海道大学大学院工学研究科	教授	ガス・エアロゾル化学	H14.4～H16.10
青木 一真	富山大学教育学部	助教授	雲とエアロゾルの相互作用	H15.4～H16.10
五十嵐久美子	千葉大学環境リモートセンシング研究センター	研究補助員		H15.4～H16.10

③航空機観測グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
内山 明博	気象庁気象研究所気候研究部第3研究室	主任研究官	雲粒子	H11.11～ H16.10
石坂 隆	名古屋大学地球水循環研究センター	助教授	エアロゾル、CCN	H11.11～ H16.10
畠山 史郎	国立環境研究所大気圏環境部大気反応研究室	室長	前駆物質（SOX, NOX, NOY）	H12.4～H16.10
浅野 正二	東北大学大気海洋センター	教授	雲粒子	H11.11～ H16.10
芦田 直子	気象庁気象研究所気候研究部第3研究室	研究補助員	研究データの収集・解析	H12.11～ H12.11 H14.5～H14.5

④アクティブセンサーグループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
熊谷 博	独)情報通信研究機構電磁波計測部門	研究主管	雲レーダー	H11.11～ H16.10
岡本 創	東北大学大気海洋センター	助教授	雲レーダー	H11.11～ H16.10

安井 元昭	独)情報通信研究機構電磁波計測部門	主任研究官	ミーライダー	H11.11～ H16.10
竹内 延夫	千葉大学環境リモートセンシング研究センター	教授		H11.11～ H16.10
六鹿 祥子	独)情報通信研究機構電磁波計測部門	CREST 技術員		H12.4～H13.11
杉本 伸夫	国立環境研究所大気環境部高層大気研究室	室長	ライダーによる雲・エアロゾル観測	H13.4～H16.10
村山 利幸	東京海洋大学海洋工学部	教授	ライダーによる雲・エアロゾル観測	H13.4～H16.10
鷹野 敏明	千葉大学大学院自然科学研究科	助教授		H13.6～H16.10
関口 美保	東京海洋大学海洋工学部	講師	人工衛星とモデルによる放射収支データ解析	H16.4～H16.10

⑤衛星リモートセンシンググループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
中島 孝	宇宙航空研究開発機構地球観測利用推進センター	副主任開発部員	雲微物理	H11.11～ H16.10
日暮 明子	国立環境研究所大気研環境部大気物理研究室	主任研究員	エアロゾル	H11.11～ H16.10
高藪 縁	東京大学気候システム研究センター	助教授		H11.11～H12.3
増永 浩彦	コロラド州立大学	研究員	衛星リモートによる雲気候学	H13.6～H15.3
向井 苑生	近畿大学理工学部	教授	エアロゾル	H15.4～H16.10
Hoeller, Robert	宇宙航空研究開発機構地球観測利用推進	宇宙航空プロジェクト研究員		H15.4～H16.10

	センター			
西田 伸二	宇宙航空研究 開発機構地球 観測利用推進 センター	研究補助員		H13.5～H16.4

⑥大規模気候モデリンググループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
鶴野 伊津志	九州大学応用 力学研究所	教授	前駆物質、エアロゾ ル	H13.4～H16.10
藤吉 康志	北海道大学低 温科学研究所 寒冷海洋圏科 学部門	教授	雲とエアロゾル相 互作用	H11.11～ H16.10
高橋 正明	東京大学気候 システム研究 センター	教授	前駆物質、エアロゾ ル	H11.11～H15.3
沼口 敦	北海道大学大 学院地球環境 科学研究科	助教授		H11.11～H13.7
江守 正多	国立環境研究 所			H11.11～H14.3
大原 利眞	国立環境研究 所		前駆物質、エアロゾ ル	H11.11～ H16.10
竹村 俊彦	九州大学応用 力学研究所	助手	エアロゾルモデリ ング	H14.4～H16.10
久芳 奈遠美	地球フロンテ ィア	研究員		H15.4～H16.10

⑦研究支援1グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
Mathuros Sumipan	National Research Council of Thailand	Deputy Secretary General	タイ Sri-Samrong 観 測所における放射 観測の支援	H12.6～H16.10
Wanasri Samanasena	National Research Council of hailand	Director or Translation and Foreign Relation	タイ Sri-Samrong 観 測所における放射 観測の支援	H12.6～H16.10

Tawiesith Damrak,	Thai Meteorological Department	Deputy Director General	タイ Sri-Samrong 観測所における放射観測の支援	H12. 6～H16. 10
Muntana Briksharana	Thai Meteorological Department		タイ Sri-Samrong 観測所における放射観測の支援	H12. 6～H16. 10
Narongsak Senanarong	Department of Agriculture	Deputy Director General	タイ Sri-Samrong 観測所における放射観測の支援	H12. 6～H16. 10
Utai Pisone	Bureau of Royal Rainmaking Agriculture Aviation	Director	タイ Sri-Samrong 観測所における放射観測の支援	H12. 6～H16. 10
Michio Hshizume	Dept. of Geology, Chulalongkorn University	Professor	タイ Sri-Samrong 観測所における放射観測の支援	H12. 6～H16. 10

⑧研究支援 2 グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
遠藤 辰雄	鳥取環境大学環境政策学科	助教授	スカイラジオメーターによる船舶観測	H11. 11～ H16. 10
山崎 明宏	気象研究所気候研究部第 3 研究室	研究官	雲粒子	H12. 6～H16. 10
陳 衛標	千葉大学環境リモートセンシング研究センター	ポスドク	ミーライダー	H12. 6～H16. 3
久保田 圭	北海道大学大学院地球環境科学研究科	大学院生	雲とエアロゾルの相互作用	H12. 10～ H16. 10
鈴木 健太郎	東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻	大学院生	雲とエアロゾルの相互作用	H12. 10～ H16. 10
河本 和明	総合地球環境学研究所	助手	衛星リモートセンシング	H12. 10～ H16. 10
戸川 裕樹	新潟地上気象台衛星センター		放射・エアロゾル	H12. 10～H16. 3
菊地 信弘	独)情報通信研究機構電磁波		雲レーダによる観測データの解析	H12. 10～ H16. 10

	計測部門			
高見 昭憲	国立環境研究所大気圏環境部大気反応研究室	技官	前駆物質 (SOX, NOX, NOY)	H12. 12～ H16. 10
民田 晴也	名古屋大学大気水圏科学研究所共同研究プロジェクトセンター	技官	航空機によるエアロゾル、CCN の観測とエアロゾル試料採取	H12. 12～ H16. 10
鈴木和司	名古屋大学理学部装置開発室	技官	航空機によるエアロゾル、CCN の観測とエアロゾル試料採取	H12. 12～ H16. 10
香川 雅子	名古屋大学大学院理学研究科博士課程後期3年	大学院研究生	航空機及び地上エアロゾル科学組成による大気汚染状態の観測	H12. 12～ H16. 10
佐野 到	近畿大学理工学部経営工学科	講師	偏光放射計を用いた大気粒子観測	H12. 12～ H16. 10
北島 武志	近畿大学総合理工学研究科地球環境系専攻	大学院生	偏光放射計を用いた大気粒子観測	H12. 12～H14. 3
野島 邦一	近畿大学総合理工学研究科地球環境系専攻	大学院生	船舶による大気観測	H12. 12～H14. 3
中西 裕治	サイテック	代表	SKYNET ネットワークの機器の維持に関する技術的支援	H12. 12～ H16. 10
Kim, Dohyeong	ソウル大学	研究員	地表面放射収支データ解析	H13. 2～H16. 10
Raschke, Erhard	GKSS-Forschungszentrum			H13. 2～H16. 10
郭 振海	北海道大学低温科学研究所	大学院生	大気物理	H13. 2～H16. 10
井口 享道	東京大学気候システム研究センター	大学院生	大気物理	H13. 2～H16. 10
向井 真木子	東京大学気候システム研究センター	大学院生	大気物理	H13. 2～H16. 10
丸山 優二	東京大学気候システム研究センター	大学院性	大気物理	H13. 2～H15. 3

岩崎 杉紀	地球フロンティア	研究員	雲・エアロゾル・ライダー	H13.2～H16.10
清水 厚	国立環境研究所	研究員	大気リモートセンシング	H13.2～H16.10
須藤 重人	農業環境技術研究所	主任研究官	大気化学	H13.2～H16.10
米村正一郎	農業環境技術研究所	主任研究官	大気生物化学	H13.2～H16.10
辻岡 直也	千葉大学大学院自然科学研究科	大学院生	タイ Sri Samrong 及び関連サイトにおける水蒸気、雲水の遠隔測定とその評価	H13.6～H16.3
下羽 利明	北海道大学大学院工学研究科	大学院生	東アジア域エアロゾルと北極域エアロゾルの化学・光学特性の比較	H13.6～H15.3
荒生 公雄	長崎大学環境科学部	教授	大気光学・エアロゾル	H13.5～H16.10
早坂 忠裕	総合地球環境学研究所	教授	大気物理学	H13.6～H16.10
片桐 秀一郎	総合地球環境学研究所	非常勤研究員	衛星データ解析	H13.8～H16.10
黄 宣淳	東京大学気候システムセンター	大学院生	大気物理	H13.9～H16.10
松井 一郎	国立環境研究所大気圏環境研究領域	研究員	ライダーによる雲・エアロゾル観測	H13.9～H16.10
福島 甫	東海大学開発工学部	教授	エアロゾルの衛星リモートセンシング	H13.9～H16.10
須賀 弓郎	千葉大学大学院自然科学研究科	大学院生	電波物理工学	H13.12～H15.3
八木 一行	農業環境技術研究所地球環境部温室効果ガスチーム	室長	ガス・エアロゾル化学	H14.4～H16.10
新井 健一	大学院自然科学研究科	大学院生	エアロゾル観測解析	H14.4～H16.3
浅野 準一	新潟地方気象台衛星センター		放射・エアロゾル	H14.4～H16.3
姜 雅羅	東京大学気候システム研究センター	大学院生	大気物理	H14.4～H15.3
佐伯 貴之	東京大学気候システム研究センター	大学院生	雲が地球放射収支に及ぼす影響に関する研究	H14.4～H16.3

浅湫 吾郎	東京大学気候システム研究センター	大学院生	雲が地球放射収支に及ぼす影響に関する研究	H14. 4～H16. 3
坊野 浩規	近畿大学大学院総合理工学研究科	大学院生	放射観測	H14. 4～H16. 10
栈敷 龍太郎	近畿大学大学院総合理工学研究科	大学院生	偏光観測	H14. 4～H16. 10
秋元 直樹	近畿大学大学院総合理工学研究科	大学院生		H14. 4～H16. 10
四分一 芳史	千葉大学理学部地球科学科	学部生	放射収支解析	H14. 4～H16. 3
池田 健士	千葉大学自然科学研究科	大学院生	エアロソル観測解析	H14. 4～H16. 10
鳥山 智史	千葉大学自然科学研究科	大学院生	雲画像処理	H14. 4～H16. 10
島田 政信	宇宙航空研究開発機構地球観測利用推薦センター	主任開発研究員	エアロゾルの衛星リモートセンシングに関わる地表面状態の衛星観測手法の研究	H14. 6～H16. 10
荒井 豊	東京大学気候システム研究センター	大学院生	硫黄酸化物の大気中酸化過程に関するモデル計算	H14. 6～H16. 10
小熊 健太郎	東京大学気候システム研究センター	大学院生	大気中OHラジカルの濃度変動に関する解析	H14. 6～H16. 3
Mark Matheson	Oregon State University	Graduate Research Assistant	雲微物理量のリモートセンシング	H14. 6～H16. 10
Rachel Pinker	University of Maryland	教授	SKYNET のデータ利用による精度検証 衛星データから東アジア地域の地表面放射収支及び PAR の推定	H14. 6～H16. 10
Deepak Aryal	トリブバン大学水文気象学部	講師	東アジア域におけるエアロゾルの分布と輸送及びそれらの雲粒核としての役割に関する研究	H15. 2～H16. 10
近藤 聖彦	名古屋大学理学部	技官	巨大雲粒核の採取	H15. 2～H16. 10
張 代洲	熊本県立大学環境共生学部	助教授	エアロゾルと雲粒核の航空機観測	H15. 2～H16. 10

風岡 亮	名古屋大学大学院環境学研究科	「博士後期課程 1 年	雲粒核と雲物理量の 航空機観測	H15. 2～H16. 10
三好 猛雄	国立環境研究所大気圏環境部大気反応研究室	NIES ポスドクフェロー	福江島における AMS (エアロゾル質量分析計) によるエアロゾル化学成分の連続観測	H15. 2～H16. 10
河村 洋平	千葉大学工学部電子機械工学科	技官	ミリ波 FM-CW レーダ による雲観測	H15. 2～H16. 10
秋田 健一	千葉大学工学部電子機械工学科	大学院生	ミリ波 FM-CW レーダ による雲観測	H15. 2～H16. 10
高須 圭織	名古屋大学大学院環境学研究科	大学院生	エアロゾルが雲の微細構造に及ぼす影響に関する数値実験	H15. 2～H16. 10
谷口 雅之	近畿大学	4 年生	大気観測	H15. 2～H16. 10
高橋 友和	名古屋大学地球水循環研究センター	技術補佐員	航空機観測資料・気象資料及び人工衛星資料の収集・解析	H15. 2～H16. 10
小林 真紀子	茨城大学理学部地球生命環境科学科	4 回生	大気中エアロゾルの化学組成の解析	H15. 3～H16. 4
池田 なぎさ	名古屋大学大学院環境学研究科	大学院生	エアロゾルと雲の分布状態の観測	H15. 3～H16. 10
山脇 沢人	名古屋大学大学院環境学研究科	大学院生	東シナ海におけるガス・エアロゾルとの雲粒核濃度の関係	H15. 3～H16. 10
マンディラ アディカリ	名古屋大学大学院環境学研究科	大学院生	巨大雲粒核の微雨形成及び雲の寿命に及ぼす影響	H15. 3～H16. 10
Pitoyo S Sarwono	BPPT, Indonesia	研究員	エアロゾルと雲粒核濃度の関係	H15. 3～H16. 10
山本 和磨	名古屋大学大学院環境学研究科	大学院生	大気エアロゾルの雲物理学的・光学的性質に関する地上観測	H16. 4～H16. 10
亀井 秋秀	国立環境研究所	NIES ポスドクフェロー	2 波長ミューライダーによる雲・エアロゾル観測の実施とそのデータ解析	H16. 4～H16. 10
五藤 大輔	東京大学気候システム研究センター	大学院生	大気物理	H16. 5～H16. 10

三井 達也	東京大学気候システム研究センター	大学院生	大気物理	H16.5～H16.10
若林 康雄	東京大学気候システム研究センター	大学院生	大気物理	H16.5～H16.10
福田 悟	東京大学気候システム研究センター	大学院生	大気物理	H16.5～H16.10
関塚 正樹	近畿大学	大学院生	ポータブル偏光放射計による大気エアロゾル観測	H16.6～H16.10
新保 好史	近畿大学	大学院生	浮遊粒子状物質の計測	H16.6～H16.10
長岡 宏	名古屋大学大学院環境学研究科	大学院生	APEX 航空機観測結果の校正・吟味を含む解析的研究	H16.9～H16.10

6. 研究期間中の主な活動

(1) ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
H12.3.5	The Joint Workshop for the Indonesian Forest Fire and its Environmental Impacts	東京 文京区	38	1997年のインドネシア森林大火災を主として、東南アジアの植生火災が引き起こす気候・環境影響についてインドネシアと米国からの研究者も招聘して検討した。APEXの主題である人為起源エアロゾルの気候影響研究においては有機炭素性エアロゾルの動態と特性が最も不確定性が多いので、研究会はその後のAPEX研究に役だった。
H12.4.3～ H12.4.4	APEX戦略会議	東京・青梅	36	APEXのサイエンスチームの最初の会合において、研究目的、研究戦略の確認を行い、各研究班の分担を決定した。また、東アジア域の観測のために必要な地上サイトの検討を行

				った。
H13. 2. 28～ H13. 3. 2	APEX第 3 回会合	北海道 定山溪	50	1 年目の総括として、新たに開始したモデル開発の現状について報告を聞き、今後の方針を立てた。2000年12月に行ったAPEX-E1局地観測実験の総括と、2001年4月に実施予定のAPEX-E2実験の計画を立てた。また、開発・購入した機器の評価を行った。
H13. 5. 10	エアロゾルと雲の気候影響に関する研究者会議	東京	29	APEX外からもエアロゾルと雲の気候影響研究に関わる研究者を招いて、当該研究にかかわる重要な研究項目や問題を検討した。これをAPEX研究にフィードバックするための作戦を立てた。
H13. 9. 26～ H13. 9. 28	APEX/RIHN Workshop	京都	60	海外からも研究者を招聘して、エアロゾルの気候影響に関するこれまでのAPEXの研究報告、とくにAPEX-E1、-E2実験の結果の解析を行った。また、海外の研究者から海外における関連研究の現状を報告してもらった。特にIGAC/ACE-Asia国際観測実験は、APEX-E2と平行して行われたので、意見交換も行った。これは、文部科学省総合地球環境学研究所との共同ワークショップである。
H14. 7. 3～ H14. 7. 5	The Fifth APEX International Workshop	宮崎	62	海外からも研究者を招聘して、エアロゾルの気候影響に関するこれまでのAPEXの研究報告、APEX-E1、-E2実験の結果の解析、SKYNETネットワークの展開に関する検討を行った。

H15. 6. 25～ H15. 6. 27	The 6 th APEX International Workshop	兵庫県 淡路	60	APEX-E3観測実験で得られた衛星データ、エアロゾルと雲の航空機観測データ、地上データ、放射収支観測データの解析に関する詳細を議論した。また、雲とエアロゾルの相互作用に関するモデリング研究、観測的研究の現状について、海外の研究者も交えて意見交換をした。この段階で各班間の相互協力が始まった。例えば、地上観測点での衛星解析結果やモデルシミュレーション結果の抽出などの結果が出てきて、それぞれの手法の比較が可能になってきた。
H15. 11. 11～ H15. 11. 12	SKYNET DATA 解 析ワークショップ	タイ	36	SKYNETサイトのひとつである Sri-SamrongがあるタイにおいてSKYNETの運用とデータ利用に関する意見交換会を行った。ここには、タイ、中国、日本のサイトマネジャーやsun-skyphotometerの世界ネットワークであるNASA-AERONETの関係者が参加し、問題の解決と諸外国での研究事情の情報収集を行うことができた。特に解析ノードと言う新しい概念が導入され、SKYNETのデータが複数の研究グループの共同作業として解析されてゆく仕組みを確立した。
H16. 6. 23～ H16. 6. 25	APEX及びACECAP ワークショップ	長野県 蓼科	47	APEX研究の成果の総括を行った。その結果、エアロゾルが作り出す放射強制力に関する観測的知見とモデリング的知見が相互に整合するようになってきたことが明らかになった。ま

			た、今後の研究方針が議論された。その中で、APEX研究コミュニティが大気化学、大気放射、雲物理学をつなぐユニークな研究グループに育っていること、Lidar/Radarシステム、SKYNET、モデル群、APEX Virtual Laboratory Webシステムなどの資産が研究効率の増大と相互協力の強化に役立っていることが確認された。そのために次年度以降もAPEXワークショップを継続することが決められた。
--	--	--	--

(2) 招聘した研究者等

氏 名（所属、役職）	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Ngakan Putu Oka (Department Forestry, Faculty of Agriculture Hasanuddin University/ Professor)	バイオマス会議での研究成果発表	東京グリーンホテル 文京区後楽	H12. 3. 5～ H12. 3. 9
Deffendy A. Sumardja (The State Ministry of Environmet/Assistant Minister for Cordination)	バイオマス会議での研究成果発表	東京グリーンホテル 文京区後楽	H12. 3. 5～ H12. 3. 9
Andrew Edwards (Bushfire Council, Northern Territory/Chief Fire Control Officer)	バイオマス会議での研究成果発表	東京グリーンホテル 文京区後楽	H12. 3. 5～ H12. 3. 9
Siswoyo (Bogor Agricultural University) Government Official	バイオマス会議での研究成果発表	東京グリーンホテル 文京区後楽	H12. 3. 5～ H12. 3. 9
Suyanto (International Center for Research in Agraforestry/ Doctoral fellow)	バイオマス会議での研究成果発表	東京グリーンホテル 文京区後楽	H12. 3. 5～ H12. 3. 9
Suhardi (Faculty of Forestry, Gakjah)	バイオマス会議での研究成果発表	東京グリーンホテル 文京区後楽	H12. 3. 5～ H12. 3. 9

Mada University/Vice Dean)	表		
Daniel Murdiyarso (Global Change Impacts Center for Southeast/Professor, Director)	バイオマス会議 での研究成果発 表	東京グリーンホテル 文京区後楽	H12. 3. 5～ H12. 3. 9
Ani Mardiatuti (Bogor Agriculture University/ Lecturere)	バイオマス会議 での研究成果発 表	東京グリーンホテル 文京区後楽	H12. 3. 5～ H12. 3. 9
Tien Sribimawati (Agency for the Assessment and Application of Technology/ Professor)	バイオマス会議 での研究成果発 表	東京グリーンホテル 文京区後楽	H12. 3. 5～ H12. 3. 9
Lilik Budi Prasetyo ポゴール農家大学林学科ラントスケ プ & GIS/講師	バイオマス会議 での研究成果発 表	東京グリーンホテル 文京区後楽	H12. 3. 5～ H12. 3. 9
Jorgen Jensen (CSIRO Atmospheric Research/ Senior Research Scientist)	CREST/APEX 研 究課題の5年間 の研究計画立案 研究成果発表	かんぽ福祉施 設・青梅	H12. 4. 1～ H12. 4. 6
Daniel Rosenfeld (The Hebrew University of Jerusalem/Associate Professor)	CREST/APEX 研 究課題の5年間 の研究計画立案 研究成果発表	かんぽ福祉施 設・青梅	H12. 4. 1～ H12. 4. 6
Alexander Khain (The Hebrew University of Jerusalem/Associate Professor)	CREST/APEX 研 究課題の5年間 の研究計画立案 研究成果発表	かんぽ福祉施 設・青梅	H12. 4. 1～ H12. 4. 6
Piotr Flatau (Scripps Institute of Oceanography, University of California/Professor)	研究打合せ CREST/APEX 研 究課題の5年間 の研究計画立案 研究成果発表	東京都目黒区 かんぽ福祉施 設・青梅	H12. 3. 28～ H12. 4. 4
Guang-Yu Shi (Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science/ Professor)	CREST/APEX 研 究課題の5年間 の研究計画立案 研究成果発表	かんぽ福祉施 設・青梅	H12. 3. 25～ H12. 4. 5
Sung-Nam Oh (Applied Meteorological Research Laboratory, Meterological Research Institute/KMA/ Director)	CREST/APEX 研 究課題の5年間 の研究計画立案 研究成果発表	かんぽ福祉施 設・青梅	H12. 4. 2～ H12. 4. 6
Byung-Ju Sohn (School of Earth and Environmental Science, Seoul	CREST/APEX 研 究課題の5年間 の研究計画立案 研究成果発表	かんぽ福祉施 設・青梅	H12. 4. 2～ H12. 4. 5

National University/ Associate Professor)			
Chow Peng Leong (Environmental Studies, Malaysian Meteorological Service/ Director)	オゾンシンポジウム（北海道）での研究成果発表及びAPEX地上調査についての意見交換	北海道	H12. 7. 1～ H12. 7. 9
河本和明 バージニア工科大学/研究員	APEXにおける全球および局地実験領域の有効粒子半径の導出計画について議論し、解析スケジュールを決定する	東京都目黒区	H12. 9. 29～ H12. 10. 22
Khain, Alexander (The Hebrew Unuversity of Jerusalem/Associate Professor)	2000年度の活動総括及び2001年度の活動計画の検討及びAPEX-E2観測計画の検討	北海道定山溪	H13. 2. 27～ H13. 3. 4
Khantiyanan (Royal Rainmaking Section, Bureau of the Royal Rainmaking and Agricultural Aviation/Director)	2000年度の活動総括及び2001年度の活動計画の検討及びAPEX-E2観測計画の検討	東京都目黒区 北海道定山溪	H13. 2. 27～ H13. 3. 4
Penner, Joyce E. (University of Michigan/ Professor)	同上	北海道定山溪	H13. 2. 26～ H13. 3. 2
Sohn, Bung-Ju (Seoul National University/ Associate Professor)	同上	北海道定山溪	H13. 2. 26～ H13. 3. 2
Ramanathan, Veerabdhadran (Center for Clouds, Chemistry and Climate, Scripps Institution of Oceanography, University of California/Director)	同上	北海道定山溪	H13. 2. 24～ H13. 3. 3
Rosenfeld, Daniel (The Hebrew Unuversity of Jerusalem/Associate Professor)	同上	北海道定山溪	H13. 2. 25～ H13. 3. 4

Shi, Guang-Yu (Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences/Professor)	同上	北海道定山溪	H13. 2. 27～ H13. 3. 3
Wang, Biao (Institute of Atmospheric Physics/ Associate Professor)	アジア域の大気汚染が及ぼす気候変動への影響を評価	東京都葛飾区	H13. 8. 8～ H15. 8. 7
Dohyeong Kim (School of Earth and Environment Sciences, Soul National University/大学院生, 博士課程 4 年)	放射強制力の影響を評価し、解析結果を検討する	東京都杉並区	H13. 9. 16～ H13. 10. 15
Khain, Alexander (Institute of Earth Sciences The Hebrew University of Jerusalem Israel / Professor)	A Workshop on Atmospheric Environmental Changes in Asia においてAPEXプロジェクトの研究成果の報告及び運営について検討するため	京都	H13. 9. 24～ H13. 9. 29
Jensen, Jorgen B. (CSIRO Atmospheric Research/ Principal Research Scientis)	同上	京都	H13. 9. 24～ H13. 9. 30
Shi, Guang-Yu (Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences/Professor)	同上	京都	H13. 9. 25～ H13. 9. 28
河本和明 バージニア工科大学/研究員	APEXにおける全球および局地実験領域の有効粒子半径の導出計画について議論し、解析スケジュールを決定する	東京都目黒区	H13. 10. 6～ H13. 10. 31
Krittapob Jiaranaiwong (Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University/Teaching Assistant)	タイ、Sri-Samrong ステーションにおける日射、赤外放射フラックスデータの解析に関する共同研究において、タイ側の	東京都白金台	H13. 10. 13～ H13. 11. 14

	学生の解析にかかわる基礎知識を教育し、解析の円滑化を図る。		
Dohyeong Kim (School of Earth and Environment Sciences, Soul National University/ 大学院生, 博士課程 4 年)	放射強制力の影響を評価し、解析結果を検討する	東京都杉並区	H14. 1. 16～ H14. 2. 15
Sohn, Byung-Ju (School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University/ Associate Professor)	APEX研究において観測される雲とエアロゾルの相互作用をモデル化するために開発中の雲物理モデルに関する研究打ち合わせ	宮崎県宮崎市	H14. 7. 2～ H14. 7. 6
Redemann, Jens (Bay Area Environmental Research Institute/ Research Scientist)	同上	宮崎県宮崎市	H14. 6. 30～ H14. 7. 6
Rotstayn, Leon (Atmospheric Research, CSIRO/ Senior Research Scientist)	同上	宮崎県宮崎市	H14. 7. 1～ H14. 7. 7
Jensen, Jorgen B. (National Center for Atmospheric Research/ Visiting Scientist)	同上	宮崎県宮崎市	H14. 7. 1～ H14. 7. 4
Kwak, Chong-Heum (Atmospheric Physics Laboratory, Department of Atmospheric Science, Kongju National University/ Professor)	同上	宮崎県宮崎市	H14. 7. 2～ H14. 7. 6
Kim, Maeng-Ki (Atmospheric Physics Laboratory, Department of Atmospheric Science, Kongju National University/ Assistant Professor)	同上	宮崎県宮崎市	H14. 7. 2～ H14. 7. 6
Oh, Sung-Nam (National Research Lab, Meteorological Research Institute)	同上	宮崎県宮崎市	H14. 7. 2～ H14. 7. 6

Korea Meteorological Administration/ Senior Research Scientist)			
Khain, Alexander (Institute of Earth Sciences, The Hebrew University of Jerusalem/Professor)	同上 APEX研究に使用する雲物理モデルの開発に関する研究打ち合わせ	宮崎県宮崎市 東京都目黒区	H14. 7. 2～ H14. 7. 12
Rosenfeld, Daniel (Institute of Earth Sciences, The Hebrew University of Jerusalem/ Associate Professor)	APEX研究において観測される雲とエアロゾルの相互作用をモデル化するために開発中の雲物理モデルに関する研究打ち合わせ	宮崎県宮崎市	H14. 6. 30～ H14. 7. 6
Huebert, Barry (Department of Oceanography, University of Hawaii/ Professor)	同上	宮崎県宮崎市	H14. 7. 1～ H14. 7. 6
Isaka, Harumi (Laboratoire de meteorologie Physique, Universite Blaise Pascal/ Professor)	同上	宮崎県宮崎市	H14. 7. 2～ H14. 7. 8
Aryal, Deepak ネパール国トリブバン大学水文/気象学部講師	APEX-E3 観測事前準備及び観測に従事するため	鹿児島県国分市	H15. 3. 3～ H15. 3. 12
Raschke, Ehrhard Emeritus Guest Scientist	APEX-E3 観測の日欧研究協力交渉	東京都目黒区	H15. 3. 31～ H15. 4. 6
Khain, Alexander (Institute of Earth Sciences, The Hebrew University of Jerusalem/Professor)	The APEX-RIHN Joint International Workshop for Atmospheric Aerosols and Clouds 及び IUGG2003 に参加する為	兵庫県津名郡 北海道札幌市	H15. 6. 24～ H15. 7. 6
Rosenfeld, Daniel (Institute of Earth Sciences, The Hebrew University of Jerusalem/Professor)	同上	兵庫県津名郡 北海道札幌市	H15. 6. 20～ H15. 7. 6

Oh, Sung-Nam (Applied Meteorology Research Laboratory, Meteorological Research Institute/Director)	同上	兵庫県津名郡 北海道札幌市	H15. 6. 24～ H15. 7. 4
P.C.S. Devara (Physical Meteorology & Aerology Division/ Deputy Director and Head)	同上	兵庫県津名郡 北海道札幌市	H15. 6. 24～ H15. 7. 10
Kim, Jhoon (Department of Atmospheric Sciences, Yonsei University/ Associate Professor)	The APEX-RIHN Joint International Workshop for Atmospheric Aerosols and Clouds に参加する為	兵庫県津名郡	H15. 6. 24～ H15. 6. 28
Boossarasiri Thana (Department of Geology, Faculty of Science Chulalongkorn University/ Lecturer)	非 静 力 雲 物 理 モデルの開発	東京都目黒区	H15. 9. 20～ H15. 10. 25
Eck, Thomas (University of Maryland at Baltimore County, Research Associate)	CSAMIS ・ SKYNET DATA 解析ワークショップの参加及び観測サイトの視察	タイ	H15. 11. 10～ H15. 11. 14
Muvva Venkata Ramana (CAS, C4, SIO, UCSD/ Research Physicist)	同上	タイ	H15. 11. 9～ H15. 11. 16
Patrick Y. Chuang, (Department of Earth Sciences, University of California at Santa Cruz/ Assistant Professor)	ACE-Asia および APEX-E2 観測実験で得られたエアロゾルの化学特性と放射特性に関する解析結果についての研究打ち合わせ	東京都渋谷区	H15. 11. 27～ H15. 11. 29

7. 主な研究成果物、発表等

(1)論文発表 (国内 1 件、海外 9 件) /2004年中島映至英文査読付論文

- Mukai, M. , T. Nakajima, and T. Takemura, 2004: A study of the long-term trend of Asian dust using a general circulation model. *J. Geophys. Res.*, in press.
- Takemura, T., T. Nozawa, S. Emori, T.Y. Nakajima, and T. Nakajima, 2004: Simulation of climate response to aerosol direct and indirect effects with aerosol transport-radiation model. *J. Geophys. Res.*, in press.
- Kim, D.-H., B.-J. Sohn, T. Nakajima, and T. Takamura, 2004: Aerosol radiative forcing over East Asia determined from ground-based sunphotometry measurements. *J. Geophys. Res.*, in press.
- Katagiri, S., and T. Nakajima, 2004: Radiative characteristics of cirrus clouds as retrieved from AVHRR. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 81-99.
- Bergstrom, R. W., P. Pilewskie, J. Pommier, M. Rabbette, P. B. Russell, B. Schmid, J. Redemann, A. Higurashi, T. Nakajima, and P. K. Quinn, 2004: Spectral absorption of solar radiation by aerosols during ACE-Asia, *J. Geophys. Res.*, 109, D19S15, doi:10.1029/2003JD004467, in press.
- Kim, D.-H., B.-J. Sohn, T. Nakajima, T. Takamura, T. Takemura, B.-C. Choi, and S.-C. Yoon, 2004: Aerosol optical properties over East Asia determined from ground-based sky radiation measurements. *J. Geophys. Res.*, **109**, No. D2, D02209, 10.1029/2003JD003387.
- Nakajima T. Y., T. Nakajima, H. Murakami, R. Hoeller, T. Iguchi, NASDA GAIT Team and GLI Science Team, 2004: New results from ADEOS-II/GLI, Sensors, Systems, and Next-Generation Satellite VII, eds. R. Meynart, S. P. Neeck, H. Shimoda, J. B. Rurie, M. L. Aten, SPIE , 5234, 517-524, (SPIE, Bellingham, WA).
- Campanelli, M., T. Nakajima, and B. Olivieri, 2004: Determination of the solar calibration constant a sun sky radiometer: Proposal of an in situ procedure. *Appl. Opt.*, in press.
- Myhre, G., F. Stordal, M. Johnsrud, A. Ignatov, M.I. Mishchenko, I.V. Geogdzhayev, D. Tanré, J.-L. Deuzé, P. Goloub, T. Nakajima, A. Higurashi, O. Torres, and B.N. Holben, 2004: Intercomparison of satellite retrieved aerosol optical depth over the ocean. *J. Atmos. Sci.*, 61, 499-513.
- Suzuki, K., T. Nakajima, A. Numaguti, T. Takemura, K. Kawamoto, and A. Higurashi, 2004: A study of the aerosol effect on a cloud field with simultaneous use of GCM modeling and satellite observation. *J. Atmos. Sci.*, **61**, 179-194.

(1)論文発表 (国内40件、海外130件) /全期間分

- Mukai, M. , T. Nakajima, and T. Takemura, 2004: A study of the long-term trend of Asian dust using a general circulation model. *J. Geophys. Res.*, in press.
- Takemura, T., T. Nozawa, S. Emori, T.Y. Nakajima, and T. Nakajima, 2004: Simulation of climate response to aerosol direct and indirect effects with aerosol transport-radiation model.

- J. Geophys. Res.*, in press.
- Kim, D.-H., B.-J. Sohn, T. Nakajima, and T. Takamura, 2004: Aerosol radiative forcing over East Asia determined from ground-based sunphotometry measurements. *J. Geophys. Res.*, in press.
- Katagiri, S., and T. Nakajima, 2004: Radiative characteristics of cirrus clouds as retrieved from AVHRR. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 81-99.
- Bergstrom, R. W., P. Pilewskie, J. Pommier, M. Rabbette, P. B. Russell, B. Schmid, J. Redemann, A. Higurashi, T. Nakajima, and P. K. Quinn, 2004: Spectral absorption of solar radiation by aerosols during ACE-Asia, *J. Geophys. Res.*, 109, D19S15, doi:10.1029/2003JD004467, in press.
- Kim, D.-H., B.-J. Sohn, T. Nakajima, T. Takamura, T. Takemura, B.-C. Choi, and S.-C. Yoon, 2004: Aerosol optical properties over East Asia determined from ground-based sky radiation measurements. *J. Geophys. Res.*, **109**, No. D2, D02209, 10.1029/2003JD003387.
- Nakajima T. Y., T. Nakajima, H. Murakami, R. Hoeller, T. Iguchi, NASDA GAIT Team and GLI Science Team, 2004: New results from ADEOS-II/GLI, Sensors, Systems, and Next-Generation Satellite VII, eds. R. Meynart, S. P. Neeck, H. Shimoda, J. B. Rurie, M. L. Aten, SPIE , 5234, 517-524, (SPIE, Bellingham, WA).
- Campanelli, M., T. Nakajima, and B. Olivieri, 2004: Determination of the solar calibration constant a sun sky radiometer: Proposal of an in situ procedure. *Appl. Opt.*, in press.
- Myhre, G., F. Stordal, M. Johnsrud, A. Ignatov, M.I. Mishchenko, I.V. Geogdzhayev, D. Tanré, J.-L. Deuzé, P. Goloub, T. Nakajima, A. Higurashi, O. Torres, and B.N. Holben, 2004: Intercomparison of satellite retrieved aerosol optical depth over the ocean. *J. Atmos. Sci.*, 61, 499-513.
- Suzuki, K., T. Nakajima, A. Numaguti, T. Takemura, K. Kawamoto, and A. Higurashi, 2004: A study of the aerosol effect on a cloud field with simultaneous use of GCM modeling and satellite observation. *J. Atmos. Sci.*, **61**, 179-194.
- Hoeller, R., A. Higurashi, K. Aoki, and H. Fukushima, 2004. Remote sensing of boreal forest fire aerosol in Eastern Asia from ADEOS-2/GLI during spring 2003, *Proc. SPIE*, 5571, in press.
- J. H. Seinfeld, G.R. Carmichael, R. Arimoto, W. C. Conant, F. J. Brechtel, T. S. Bates, T. A. Cahill, A. D. Clarke, P. Flatau, B. J. Huebert, J. Kim, S. J. Masonis, P. K. Quinn, L. M. Russell, P. B. Russell, A. Shimizu, Y. Shinozuka, C. Song, Y. Tang, I. Uno, R. J. Weber, J. H. Woo & X. Y. Zhang, Regional Climatic and Atmospheric Chemical Effects of Asian Dust and Pollution, BAMS, 2004.
- Satake, S., I. Uno, T. Takemura, G.R. Carmichael, D. Streets, N. Sugimoto, A. Shimizu and M. Uematsu, Characteristics of Asia aerosols transport simulated with the regional scale chemical transport modeling during the ACE-Asia period, *J. Geophys. Res.*, 2004 (in press).
- Uno, I., S. Satake, G.R. Carmichael, Y. Tang, Z. Wang, T. Takemura, N. Sugimoto, A. Shimizu, T. Murayama, T. Cahill, S. Cliff, M. Uematsu, S. Ohta, P. Quinn and T. Bates: Numerical Study of Asian Dust Transport during the Springtime of 2001 simulated with the CFORS model, *J. Geophys. Res.*, 2004. 2003JD004222.

- 佐竹晋輔、鵜野伊津志：化学物質輸送モデルによって示されたACE-Asia期間におけるアジア域のエアロゾル輸送とその水平面分布、エアロゾル学会誌 19, pp. 134-140, 2004
- Kawamoto, K., T. Hayasaka, T. Nakajima, D. Streets and J-H. Woo, Examining the aerosol indirect effect over China using an SO₂ emission inventory. Atmos. Res. In press. (2004).
- Kawamoto, K. and T. Hayasaka, Low cloud optical properties viewed from satellites over East Asia, Proc. 3rd International Symposium on Geophysics, Tanta, Egypt, 558-563 (2004)
- Toyota, K., Y. Kanaya, M. Takahashi, and H. Akimoto, 2004: A box model study on photochemical interactions between VOCs and reactive halogen species in the marine boundary layer. Atmos. Chem. Phys., in press
- A. Shimizu, A., N. Sugimoto, I. Matsui, K. Arao, I. Uno, T. Murayama, N. Kagawa, K. Aoki, A. Uchiyama, and A. Yamazaki, Continuous observations of Asian dust and other aerosols by polarization lidar in China and Japan during ACE-Asia, J. Geophys. Res., 108(D19), D19S17, doi:10.1029/2002JD003253, 2004.
- S. Iwasaki, Y. Tsushima, R. Shirooka, M. Katsumata, K. Yoneyama, I. Matsui, A. Shimizu, N. Sugimoto, A. Kamei, H. Kuroiwa, H. Kumagai, and H. Okamoto, Subvisual cirrus cloud observations using a 1064-nm lidar, a 95 GHz cloud radar, and radiosondes in the warm pool region, Geophys. Res. Lett. Vol. 31, L09103, doi:10.1029/2003GL019377, 2004.
- Peter, J. R., S. T. Siems, J. B. Jensen, J. L. Gras, Y. Ishizaka and J. Hacker, Airborne observations of new particle formation in the boundary layer and free troposphere during ACE-Asia. Submitted to Atmospheric Research, 2004.
- Peter, J. R., S. T. Siems, J. B. Jensen, J. L. Gras, Y. Ishizaka and J. Hacker, Prediction and observations of aerosol processing by a cumulus. Part2: Sulphate production and new particle formation in clouds. Submitted to Journ. Geophys. Res., 109, 2004.
- Peter, J. R., S. T. Siems, J. B. Jensen, J. L. Gras, Y. Ishizaka and J. Hacker, Prediction and observations of aerosol processing by a cumulus: Evidence for particle nucleation in clouds. Submitted to Journ. Geophys. Res., 109, 2004.
- Adhikari M., Y. Ishizaka, H. Minda, R. Kazaoka and J.B. Jensen, Vertical distribution of CCN concentration and their effect on microphysical properties of clouds over the sea near the Southwest Islands area in Japan, Revised in Journ. Geophys. Res., 109, 2004.
- Ishizaka, Y., R. Kazaoka, M. Adhikari and J. B. Jensen, The effect of CCN around the clouds on their microphysical properties -Aircraft observations over the sea near the Southwest Islands area in Japan-, Revised in Atmospheric Research, 2004.
- T. Murayama, D. Müller, K. Wada, A. Shimizu, M. Sekiguchi, and T. Tsukamoto, Characterization of Asian dust and Siberian smoke with multi-wavelength Raman lidar over Tokyo, Japan in spring 2003, submitted to Geophys. Res. Lett., 2004.
- 谷本直隆、大原利眞、鵜野伊津志、菅田誠治、植松光夫：東アジアにおける炭素粒子動態のモデル解析、大気環境学会誌、39, 229-245, 2004.
- Asano S., A. Uchiyama, A. Yamazaki, K. Kikuchi, Solar Radiation Budget from the MRI Radiometers for clear and cloudy air-columns with ARESE II, J. Atmos. Sci., (in press)
- Uchiyama, A., A. Yamazaki, H. Togawa, and J. Asano, Characteristics of Aeolian dust observed by sky-radiometer in the ADEC Intensive Observation Period 1 (IOP1), to be submitted to J. Meteorol., Soc., Japan.

- S. Hatakeyama, A. Takami, F. Sakamaki, H. Mukai, N. Sugimoto, A. Shimizu, and H. Bando " Aerial measurement of air pollutants and aerosols during March 20–22, 2001, over the East China Sea" *J. Geophys. Res.*, **109**, D13304, doi:10.1029/2003JD004271 (2004).
- N. Takeuchi, M. Yabuki, Y. Furusawa, H. Kuze, S. Naito, T. Nakajima, A. Chabangborn, M. Hashizume, J. Liu and W. Liu, Optical properties of SPM in Chiba and etc. 16th Nucleation and Atmospheric Aerosol, 2004, pp. 736-739.
- Nofel Lagrosas, Yotsumi Yoshii, Hiroaki Kuze, Nobuo Takeuchi, Suekazu Naito, Akihiro Sone, and Hirofumi Kan, Observation of boundary layer aerosols using a continuously operated, portable lidar system, *Atmospheric Environment* 38 (2004) 3885- 3892
- Nofel Lagrosas, Yotsumi Yoshii, Shunksuke Fukagawa, Gerry Bagtasa, Hiroaki Kuze, Nobuo Takeuchi, Suekazu Naito, and Masanori Yabuki; Correlation study between suspended particulate matter and portable automated lidar data, submitted to *J. Aerosol Science*
- Fujitani, Y., Murao, N., Ohta, S., Yamagata, S. and Endo, T. : Atmospheric aerosols over the Western Pacific Ocean during the R/V Mirai cruises in 2002, *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 1389-1395 (2004)
- 三浦二郎、山形 定、太田幸雄、村尾直人: 北海道東部沿岸における霧およびエアロゾルの季節変動, *大気環境学会誌*, 39 巻、2 号、63-76 (2004)
- Yamagata, S., Kuroda, T., Zaima, T., Murao, N., Ohta, S., Fujiyoshi, Y., Harimaya T., Yamada, T., Izumi, K., Fukuyama, T., Utiyama, M.; Mineral particles in cloud droplets produced in an Artificial Cloud Experimental System (ACES), *Aerosol Sci. Technol.* **38**, 293-299 (2004)
- Asano, S., A. Uchiyama, A. Yamazaki, and K. Kuchiki, 2004: Solar radiation budget from the MRI radiometers for the clear and cloudy air-columns in the ARESE II, *J. Atmos. Sci.*, **61** (in press).
- Sobajima, A., S. Asano, and H. Iwabuchi, 2004: An analysis of seasonal and decadal-long variations of aerosols over the Asian Pacific region using NOAA/AVHRR data, *J. Meteorol. Soc. Japan*, **82**, No. 5.
- Yoshida, Y., S. Asano, A. Yamamoto, N. Orikasa, and A. Yamazaki, 2004: Radiative properties of mid-latitude frontal ice-clouds observed by the shortwave and longwave radiometer-sondes. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **82**, 637-656.
- Asano, S., Y. Yoshida, Y. Miyake, and K. Nakamura, 2004: Development of a radiometer-sonde for simultaneously measuring the downward and upward broadband fluxes of shortwave and longwave radiation. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **82**, 623-637.
- Nishizawa, T., S. Asano, A. Uchiyama and A. Yamazaki, 2004: Seasonal variation of the aerosol direct radiative forcing and optical properties estimated from the ground-based solar radiation measurements. *J. Atmos. Sci.*, **61**, 57-72.
- Nobuo SUGIMOTO, Ichiro MATSUI, Atsushi SHIMIZU, Hajime OKAMOTO, Tomoaki NISHIZAWA, Akihide KAMEI, Hiroshi KUROIWA, Hiroshi KUMAGAI, Lidar Observations of Aerosols and Clouds Using the Research Vessel Mirai in the MR01-K02 Cruise, *Aerosol Research* (in Japanese), 2004 in press.
- Tsuruta, H., S. Sudo, S. Yonemura, Y. Shirasuna, K. Hirano, K. Sera, S. Futatsugawa, T. Maeda, N. Kaneyasu, N. Takeuchi, T. Takamura, and T. Nakajima: Characterization, Source Identification, and Optical Properties of Atmospheric Aerosols measured at Amami-Oshima,

- Southwest Japan, during Spring Seasons under the APEX Field Campaign Program (submitted to J. Geophys. Res.)
- Maeda, T., H. Tsuruta, R. Imasu, S. Yonemura: Model Analysed Origins of Atmospheric Sulfur Oxides Observed in Amami-Oshima During APEX E1/E2 Campaigns (submitted to J. Geophys. Res.)
- 鶴田治雄、須藤重人、米村正一郎、白砂裕一郎、平野耕一郎、前田高尚、世良耕一郎、二ツ川章二、斉藤義弘、中島映至 (2004) : 奄美大島で春期に採取した大気エアロソル中の微量元素の時系列変化とその発生源推定、第 11 回 NMCC 共同利用研究成果報告書 (印刷中).
- Iwasaki, S., Tsushima, Y., Shirooka, R., Katsumata, M., Yoneyama, K., Matsui, I., Shimizu, A., Sugimoto, N., Kamei, A., Kuroiwa, H., Kumagai, H., and Okamoto, H. (2004). Subvisual cirrus clouds observation with a 1064-nm lidar, a 95-GHz cloud radar, and radiosondes on warm pool, *Geophys. Res. Lett.* (in press) (accepted March 26, 2004).
- D. Hua, M. Uchida, T. Kobayashi, "UV high-spectral-resolution Rayleigh - Mie lidar with dual-pass Fabry - Perot etalon for measuring atmospheric temperature profiles of the troposphere", *Opt. Lett.*, vol. 29 (2004)
- Do-Hyeong Kim, Byung-Ju Sohn, Teruyuki Nakajima, Tamio Takamura, Toshihiko Takemura, Byonung-Cheol Choi, and Soon-Xhang Yoon, 2004: Aerosol optical properties over east Asia determined from ground-based sky radiation measurements, *J. Geophys. Res.*, 109, D02209.
- G. Pandithurai, R.T. Pinker, T. Takamura, and P.C.S. Devara, 2004: Aerosol radiative forcing over a tropical urban site in India, *Geophys. Res. Lett.*, 31(2004), L12107.
- Li-Ping Li, Hajime Fukushima, Robert Frouin, B. Greg Mitchell, Ming-Xia He, Tamio Takamura, Sachio Ohta, 2003: Influence of absorbing aerosols on SeaWiFS-derived marine reflectance during ACE-Asia, *Ocean Remote Sensing and Applications*, R.J. Frouin, Yeli Yuan, H. Kawamura, Editors, *Proceedings of SPIE Vol.4892*(2003), 105-115.
- Sano, I, Sonoyo Mukai, Yasuhiko Okada, Brent N. Holben, Sachio Ohta, and tamio Takamura, 2003: Optical properties of aerosols during APEX and ACE-Asia experiments, *J. Geophys. Res.*, 108(D108), ACE 17-1 ACE 17-9.
- Li, L.-P., H. Fukushima, R. Frouin, B. G. Mitchell, M.-X. He, I. Uno, T. Takamura, and S. Ohta, 2003: Influence of sub-micron absorptive aerosol on SeaWiFS-derived marine reflectance during ACE-Asia, *J. Geophys. Res.* , 108(D15), AAC 13-1 – AAC 13-6
- Sano, I., S. Mukai, M. Yamano, T. Takamura, T. Nakajima, and B. Holben, 2003: Calibration and validation of retrieved aerosol properties based on Aeronet and Skynet. [Science@direct](#), doi: 10.1016/S0273-1177(03)00685-9, 2159-2164.
- Kuji, M., T. Nakajima, and S. Mukai, 2003: Retrieval of cloud geometrical properties using satellite remote sensing data. *SPIE*, Barcelona, Spain, 5235, 15-24.
- Huebert, B.J., T. Bates, P.B. Russell, G.-Y. Shi, Y.J. Kim, K. Kawamura, G. Carmichael, and T. Nakajima, 2003: ACE-Asia technical appendix.
- Kawamoto, K., T. Hayasaka, T. Nakajima, D. Streets, and J.-H. Woo, 2003: Examining the aerosol indirect effect using SO₂ emission inventory over China. *Atmos. Res.*, in press.
- Kawamoto, K., and T. Nakajima, 2003: Seasonal variation of cloud particle size as derived from AVHRR remote sensing. *Geophys. Res. Lett.*, **30**, No. 15, 1810, doi: 10.1029/2003GL017437.

- Takemura, T., T. Nakajima, A. Higurashi, S. Ohta, and N. Sugimoto, 2003: Aerosol distributions and radiative forcing over the Asian-Pacific region simulated by Spectral Radiation-Transport Model for Aerosol Species (SPRINTARS). *J. Geophys. Res.*, **108**(D23), 8659, doi:10.1029/2002JD003210.
- Nakajima, T., M. Sekiguchi, T. Takemura, I. Uno, A. Higurashi, D.H. Kim, B.J. Sohn, S.N. Oh, T.Y. Nakajima, S. Ohta, I. Okada, T. Takamura, and K. Kawamoto, 2003: Significance of direct and indirect radiative forcings of aerosols in the East China Sea region. *J. Geophys. Res.*, **108**(D23), 8658, doi: 10.1029/2002JD003261.
- Zhang, H., T. Nakajima, G.Y. Shi, T. Suzuki, and R. Imasu, 2003: An Optimal approach to overlapping bands with correlated k distribution method and its application to radiative calculations. *J. Geophys. Res.*, **108** (D20), 4641, doi: 10.1029/2002JD003358.
- Sekiguchi, M., T. Nakajima, K. Suzuki, K. Kawamoto, A. Higurashi, D. Rosenfeld, I. Sano, and S. Mukai, 2003: A study of the direct and indirect effects of aerosols using global satellite datasets of aerosol and cloud parameters. *J. Geophys. Res.*, **108**(D22), 4699, doi: 10.1029/2002JD003359.
- Nakajima, T. Y., H. Murakami, M. Hori, T. Nakajima, T. Aoki, T. Oishi, and A. Tanaka, 2003: Efficient use of an improved radiative transfer code to simulate near-global distributions of satellite-measured radiances, *Appl. Opt.*, **42**, 3460-3471.
- Hoeller, R., K. Ito, S. Tohno, and M. Kasahara, 2003. Wavelength dependent aerosol single-scattering albedo: Measurements and model calculations for a coastal site near the Sea of Japan during ACE-Asia, *J. Geophys. Res.*, **108**, D23, 8648, doi:10.1029/2002JD003250.
- Hoeller, R., J. Nieve, I. Asanuma, M. Hori, H. Murakami, and T. Aoki, 2003. GLI vicarious calibration using selected ocean and snow ground sites. *Proc. SPIE*, **4892**, 618-626.
- Yabe, T., R. Hoeller, S. Tohno, and M. Kasahara, 2003. An aerosol climatology at Kyoto: Observed local radiative forcing and columnar optical properties. *J. Applied Meteor.*, **42**, 6, 841-850.
- Uno, I., G.R. Carmichael, D.G. Streets, Y. Tang, J.J. Yienger, S. Satake, Z. Wang, Jung-Hun Woo, S. Guttikunda, M. Uematsu, K. Matsumoto, H. Tanimoto, K. Yoshioka and T. Iida, Regional Chemical Weather Forecasting System CFORS: Model Descriptions and Analysis of Surface Observations at Japanese Island Stations During the ACE-Asia Experiment, *J. Geophys. Res.*, **108**(D23), 8668, doi:10.1029/2002JD002845, 2003.
- Uno, I., Gregory R. Carmichael, David Streets, Shinsuke Satake, Toshihiko Takemura, Jung-Hun Woo, Mitsuo Uematsu and Sachio Ohta: Analysis of Surface Black Carbon Distributions during ACE Asia using a Regional Scale Aerosol Model, *J. Geophys. Res.*, **108**(D23), 8636, doi:10.1029/2002JD003252, 2003.
- W. C. Conant, J. H. Seinfeld, and J. Wang, G. R. Carmichael, Y. Tang, I. Uno, P. J. Flatau, K. M. Markowicz, P. K. Quinn, A model for the radiative forcing during ACE-Asia derived from CIRPAS Twin Otter and R/V Ronald H. Brown data and comparison with observations, *J. Geophys. Res.*, **108**(D23), 8661, doi:10.1029/2002JD003260, 2003.
- K. Kawamoto and T. Nakajima, Seasonal variation of cloud particle size as derived from AVHRR remote sensing. *Geophys. Res. Lett.* 2003, Vol.30, No.15, 181010.1029/2003GL017437

- Mukai, M., T. Nakajima, T. Takemura, 2003: A study of long-term trends in mineral dust aerosol distributions in Asia using a general circulation model. *Journal of Geophysical Research* (doi: 10.1029/2003JD004270, accepted)
- Sudo, K., M. Takahashi and H. Akimoto, 2003: Future changes in stratosphere-troposphere exchange and their impacts on future tropospheric ozone simulations. *Geophys. Res. Letters*, 30, 24, 2256, doi:10.1029/2003GL018526.
- Liu, M., D. L. Westphal, S. Wang, A. Shimizu, N. Sugimoto, J. Zhou, and Y. Chen (2003), A high-resolution numerical study of the Asian dust storms of April 2001, *J. Geophys. Res.*, 108 (D23), 8653, doi:10.1029/2002JD003178.
- Sugimoto, N., I. Uno, M. Nishikawa, A. Shimizu, I. Matsui, X. Dong, Y. Chen, and H. Quan (2003), Record heavy Asian dust in Beijing in 2002: Observations and model analysis of recent events, *Geophys. Res. Lett.*, 30 (12), 1640, doi:10.1029/2002GL016349.
- 鵜野伊津志, 天野宏欣, 木下紀正, 荒生公雄, 村山利幸, 松井一郎, 杉本伸夫, 地域気象モデルと結合した黄砂輸送モデルの開発と1998年4月の黄砂シミュレーション, *天気*, 50, 17-29 (2003).
- Ishizaka, Y and M. Adhikari, Composition of cloud condensation nuclei, *Journ. Geophys. Res.*, 108, D4, 4138 (AAC 2-1~2-16), 2003.
- Kagawa, M., Y. Ishizaka and K. Ohta, Sources of sulfate in winter aerosols over the Sea of Japan, as inferred from selenium composition, *Atmos. Environ.*, 37, 1593-1600, 2003.
- Ishizaka, Y., M. Adhikari, R. Kazaoka, P. Khatri, H. Minda, D. Aryal, T. Takahashi, K. Takasu, J. B. Jensen, J. L. Gras and K. Okada, The effect of air-pollutants on the microphysical properties of clouds over the sea off the southwest of Kyushu in Japan, Findings and current problems in the Asian particle environmental change studies:2003. JST/CREST/APEX 2003 Interim Report, 103-116, 2003.
- T. Murayama, S. J. Masonis, J. Redemann, T. L. Anderson, B. Schmid, J. M. Livingston, P. B. Russell, B. Huebert, S. G. Howell, C. S. MacNaughton, A. Clarke, M. Abo, A. Shimizu, N. Sugimoto, M. Yabuki, H. Kuze, S. Fukagawa, K. Maxwell-Meier, R. J. Weber, D. A. Orsini, B. Blomquist, A. Bandy, and D. Thornton, An intercomparison of lidar-derived aerosol optical properties with airborne measurements near Tokyo during ACE-Asia, *J. Geophys. Res.*, 108 (D23), 8651, doi:10.1029/2002JD003259, 2003.
- 村山利幸, ライダー観測によるエアロゾルの鉛直分布と光学特性, *月刊海洋*, 36 (2), pp.114-120, 2003.
- Yan X., Ohara, T., and Akimoto, H.; Estimation of nitrous oxide, nitric oxide and ammonia emissions from croplands in East, Southeast and South Asia, *Global Change Biology*, 9, 1080-1096, 2003.
- 竹村俊彦, 2003: 全球3次元エアロゾル輸送・放射モデルを用いたエアロゾルの分布及び放射強制に関する研究(2002年度日本気象学会山本・正野論文賞受賞記念講演). *天気*, 50, 425-435.
- Hori, M., Ohta, S., Murao, N., Yamagata, S.; Activation capability of water soluble organic substances as CCN, *J. Aerosol Sci.*, 34, 419-448(2003)
- Hara, K., Yamagata, S., Yamanouchi, T., Sato, K., Herber, A., Iwasaka, Y., Nagatani, M., Nakata, H.; Mixing states of individual aerosol particles in spring Arctic troposphere during ASTAR2000

- campaign, *J. Geophys. Res.*, 108, 4209-42238(2003).
- Okamoto, H., S. Iwasaki, M. Yasui, H. Horie, H. Kuroiwa and H. Kumagai, An algorithm for retrieval of cloud microphysics using 95-GHz cloud radar and lidar, *JGR*, 108(D7, 4226), doi:10.1029/2001JD0001225, 2003.
- 須藤重人・二ツ川章二・斉藤義弘・世良耕一郎・鶴田治雄 (2003): PIXE を利用したアジア域の大気質広域輸送過程解明への試み、第 10 回 NMCC 共同利用研究成果報告書 (in CD-R).
- Sugimoto, N. (2003), Lidar methods for measuring distributions and characteristics of aerosols and clouds, *SPIE* 5226, 223-233.
- Sugimoto, N., I. Matsui, A. Shimizu, H. Kumagai and I. Uno (2003), Asian Dust Observation Using an Airborne Mie-Scattering Lidar in the APEX-E3 Campaign, Findings and Current problems in the Asian Particle Environmental Change Studies: 2003, Edited by T. Nakajima and APEX Science Team, pp.160-163.
- Sugimoto, N., A. Shimizu, I. Matsui, A. Chabangborn, M. Hashizume, and T. Takamura (2003), Aerosol and cloud vertical distribution characteristics in Sri Samrong, Thailand (17.15N, 99.95E) revealed by continuous observations with a dual-polarization lidar, Findings and Current problems in the Asian Particle Environmental Change Studies: 2003, Edited by T. Nakajima and APEX Science Team, pp.164-167.
- 杉本伸夫・松井一郎・清水 厚・岡本創・西澤智明・亀井秋秀・黒岩博司・熊谷博, 「みらい」航海(MR01-K02)におけるエアロゾルと雲のライダー観測エアロゾル研究 (in press)
- Q. J. Liu, T. Takamura, N. Takeuchi, and G. Shao, 2002: Mapping of boreal vegetation of a temperate mountain in China by multitemporal Landsat TM imagery, *Int. J. Remote Sensing*, 23(2002), No17, 3385-3405.
- Jun Zhou, Guming Yu, Chuanjia Jin, Fudi Qi, Dong Liu, Huanling Hu, Zhiben Gong, Guangyu Shi, Teruyki Nakajima, and Tamio Takamura, Lidar Observations of Asian Dust over Hefei, China in the Spring of 2000, *Journal of Geophysical Research*, 107(2002), No.D15, AAC 5-1 – 5-8.
- Sugimoto, N., I. Matsui, A. Shimizu, I. Uno, K. Asai, T. Endoh, and T. Nakajima, 2002: 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**, No. 19, 1901, doi:10.1029/2002GL015112.
- Takamura, T., I. Uno, T. Nakajima, A. Higurashi, and I. Sano, 2002: Modeling study of long-range transport of Asian dust and anthropogenic aerosols from East Asia. *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 2158, doi:10.1029/2002GL016251.
- Higurashi, A., and T. Nakajima, 2002: Detection of aerosol types over the East China Sea near Japan from four-channel satellite data. *Geophys. Res. Lett.*, **29**(17), 1836, doi:10.1029/2002GL015357.
- Chin, M., P. Ginoux, S. Kinne, O. Torres, B. Holben, B. Duncan, R. Martin, J. Logan, A. Higurashi, and T. Nakajima, 2002: Tropospheric aerosol optical thickness from the GOCART model and comparisons with satellite and sunphotometer measurements. *J. Atmos. Sci.*, **59**, 461-483.

- Penner, J.E., S.Y. Zhang, C.C. Chuang, M. Chin, J. Feichter, Y. Feng, P. Ginoux, M. Herzog, A. Higurashi, D. Koch, C. Land, U. Lohmann, M. Mishchenko, T. Nakajima, G. Pitari, B. Soden, I. Tegen, and L. Stowe, 2002: A Comparison of model- and satellite-derived optical depth and reflectivity. *J. Atmos. Sci.*, 59, 441-460.
- Takemura, T., T. Nakajima, O. Dubovik, B. N. Holben, and S. Kinne, 2002: Single scattering albedo and radiative forcing of various aerosol species with a global three-dimensional model. *J. Climate*, 15, 333-352.
- Masunaga, H., T. Y. Nakajima, T. Nakajima, M. Kachi, and K. Suzuki, 2002: Physical properties of maritime low clouds as retrieved by combined Use of TRMM Microwave Imager and Visible/Infrared Scanner. 2. Climatology of warm clouds and rain. *J. Geophys. Res.*, 107, 4367, doi: 10.1029/2001JD001269.
- Masunaga, H., T.Y. Nakajima, T. Nakajima, M. Kachi, R. Oki, and S. Kuroda, 2002: Physical properties of maritime low clouds as retrieved by combined use of TRMM Microwave Imager and Visible/Infrared Scanner: Algorithm. *J. Geophys. Res.*, 107, doi: 10.1029/2001JD000743.
- Fujita, Yuji, Sachio Ohta, Tatsuo Endoh, Naoto Murao and Sadamu Yamagata(2002): Measurement of optical and chemical properties of atmospheric aerosols over the Western Pacific Ocean Journal of Global Environment Engineering, Vol. 8, 17-33.
- Sugimoto, Nobuo, Ichiro Matsui, Itsushi Uno, Kazuhiko Asai, Tatsuo Endoh and Teruyuki Nakajima(2002):Observation of dust and anthropogenic aerosol plumes in the Northwest Pacific with a two-wavelength polarization lidar on board the research vessel Mirai Geophysical Research Letters, Vol. 29, No.19, 7.1-7.4.
- 向井 苑生, 岡田 靖彦, 佐野 到, 香西 克俊, 石田 廣史 "西部太平洋赤道上空エアロゾルの光学的厚さ ; みらい観測と光散乱シミュレーションから", 海と空, 78 巻, 3 号, pp.95-100,, 2002.
- Masunaga, H., T. Y. Nakajima, T. Nakajima, M. Kachi, R. Oki, and S. Kuroda, 2002: Physical Properties of Maritime Low Clouds as Retrieved by Combined Use of TRMM Microwave Imager and Visible/Infrared Scanner. I. Algorithm. ,Journal of Geophysical Research, 107, AAC1, doi:10.1029/2001JD000532, 2002
- Nagashima, T., M. Takahashi, M. Takigawa and H. Akiyoshi, 2002: Future development of the ozone layer calculated by a general circulation model with fully interactive chemistry. *Geophys. Res. Letters*, 29(8), 3.1-3.4.
- Akiyoshi. H, S. Sugata, T. Sugita, H. Nakajima, H. Hayashi, J.Kurokawa, and M. Takahashi, 2002: Low-N₂O Air Masses after the Breakdown of the Arctic Polar Vortex in 1997 Simulated by the CCSR/NIES Nudging CTM. Vol. 80, 451-463.
- Sudo, K., M. Takahashi, J. Kurokawa, and H. Akimoto, 2002: CHASER: A global chemical model of the troposphere 1. Model description. *J. Geophys. Res.*, 107, 10.1029/2001JD001113.
- Sudo, K., M. Takahashi, and H. Akimoto, 2002: CHASER: A global chemical model of the troposphere 2. Model results and evaluation. *J. Geophys. Res.*, 107, 10.1029/2001JD001114.
- Takigawa, M., M. Takahashi and H. Akiyoshi, 2002: Simulation of stratospheric sulfate aerosols using a Center for Climate System Research / National Institute for Environmental Studies

- atmospheric GCM with coupled chemistry, Part I: nonvolcanic simulation. *J. Geophys. Res.* 107, D22, 4610, doi:10.1029/2001JD001007.
- Labitzke, K., J. Austin, N. Butchart, J. Knight, M. Takahashi, M. Nakamoto, T. Nagashima, J. Haigh, V. Williams, 2002: The global signal of the 11-year solar cycle in the stratosphere: observations and models. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 64, 203-210.
- Z. Liu, N. Sugimoto, and T. Murayama, Extinction-to-backscatter ratio of Asian dust observed with high-spectral-resolution lidar and Raman lidar, *Appl. Opt.*, 41 (15), 2760-2767, 2002.
- Hasegawa, S. and Ohta, S.; Some measurements of the mixing state of soot-containing particles at urban and non-urban sites, *Atmospheric Environment*, 36, 3899-3908(2002)
- Hasegawa, S., Ohta, S., Murao, N. and Yamagata, S.; Measurements of optical and chemical properties of aerosols for estimates of atmospheric turbidity over the East China sea by satellite data, *J. Global Environ. Eng.*, 8, 1-15(2002)
- Fujitani, Y., Ohta, S., Endoh, T., Murao, N. and Yamagata, S.; Measurement of optical and chemical properties of atmospheric aerosols over the western Pacific ocean, *J. Global Environ. Eng.*, 8, 17-33(2002)
- Asano, S., A. Uchiyama, A. Yamazaki, J.-F. Gayet, and M. Tanizono, 2002: Two case studies of winter continental-type water and mixed-phased stratocumuli over the sea. II: Absorption of solar radiation, *J. Geophys. Res.*, **107**(D21), 4570, doi: 10.1029/2001JD001108.
- Gayet, J.-F., S. Asano, A. Yamazaki, A. Uchiyama, A. Sinyuk, and O. Jourdan, 2002: Two case studies of continental-type water and mixed-phased stratocumuli. I: Microphysical and optical properties, *J. Geophys. Res.*, **107**(D21), 4570, doi: 10.1029/2001JD001106.
- Okamoto, H., Information content of the 95GHz cloud radar signals: Theoretical assessment of non-sphericity and error evaluation of the discrete dipole approximation, *JGR*, 107 (D22, 4628) , doi: 10.1029/2001JD001386, 2002.
- Kimura, T., K. Kondo, H. Kumagai, H. Kuroiwa, C. Ishida, R. Oki, A. Kuze, M. Suzuki, H. Okamoto, R. Imasu and T. Nakajima, EarthCARE- Earth Clouds, Aerosol and Radiation Explorer: It's Objectives and Japanese Sensors designs, *Proc. SPIE Vol. 4882*, 510-519 (2002)
- Kimura, H., H. Okamoto and T. Mukai, Radiation pressure and pointing-robertson effect for fluffy dust particles, *ICARUS*, 157, 349-361, 2002.
- H. Kinjo, H. Kuze, T. Takamura, M. Yabuki, and N. Takeuchi, 2001: Determination of aerosol extinction-to-backscattering ratio from multi-wavelength lidar observation, *Jpn. J. Appl. Phys.* 40(2001), pp.434-440.
- Nas-Urt Tugjsuren and Tamio TAKAMURA, 2001: Investigation for Photosynthetically Active Radiation Regime in the Mongolian Grain Farm Region, *J. Agric. Meteorol.*, 57(4), 201-207.
- Lal, M., T. Nozawa, S. Emori, H. Harasawa, K. Takahashi, M. Kimoto, A. Abe-Ouchi, T. Nakajima, T. Takemura, and A. Numaguti, 2001: Future climate change: Implications for Indian summer monsoon and its variability. *Current Science*, **81**, 1196-1207.
- Takemura, T., T. Nakajima, T. Nozawa, and K. Aoki, 2001: Simulation of Future Aerosol Distribution, Radiative Forcing, and Long-range Transport in East Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, 79, 1139-1155.
- Kuji, M., and T. Nakajima, 2001: Retrieval of cloud geometrical parameters using remote sensing data. *SPIE*, **4150**, 225-234.

- Takemura, T., H. Okamoto, A. Numaguti, K. Suzuki, A. Higurashi, and T. Nakajima, 2001: Global three-dimensional simulation and radiative forcing of various aerosol species with GCM. *SPIE*, **4150**, 249-257,
- Masunaga, H., and T. Nakajima, 2001: The effective cloud fraction of broken clouds obtained by multistream radiative transfer. Part I: Longwave radiation. *J. Atmos. Sci.*, **58**, 2455-2467.
- Nakajima, T., A. Higurashi, K. Kawamoto, and J. E. Penner, 2001: A possible correlation between satellite-derived cloud and aerosol microphysical parameters. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 1171-1174.
- Kawamoto, K., T. Nakajima, and T.Y. Nakajima, 2001: A global determination of cloud microphysics with AVHRR remote sensing. *J. Climate*, **14**, 2054-2068.
- Kawamoto, K. and T. Nakajima : Global distribution of the water cloud microphysics derived from AVHRR remote sensing, IRS 2000: Current Problems in Atmospheric Radiation, William L. Smith and Yuriy M. Timofeyev (editors). p13-16. 2001.
- Kawamoto, K. and T. Nakajima : Global cloud property analysis using satellite remote sensing , Optical remote sensing of the atmosphere and clouds II, Oct. 2000, Sendai, Japan, Yasuhiro Sasano, Jinxue Wang, Tadahiro Hayasaka (editors), Proceedings of SPIE Vol. 4150 (2001), pp200-207
- 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観測", 海と空, 77巻, 3号, pp.127-133, 2001.
- 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, 16巻2号, pp.105-110, 2001.
- 保本 正芳, 向井 苑生 "ADEOS/OCTS と POLDER データの複合利用 2. 雲検出と雲頂位相の識別", 日本リモートセンシング学会誌, 21巻3号, pp.252-259, 2001. (日本リモートセンシング学会奨励賞受賞)
- Nakajima, T.Y. ,2001: Development of a comprehensive analysis system for satellite measurement of the cloud microphysical properties, Dr. Thesis, University of Tokyo.
- 荒生公雄、伊東和博、古謝 愛, 長崎地方における1914年から2001年までの黄砂現象の経年変化, 長崎大学総合環境研究、第5巻、第1号、p.1-10、2001.
- Fujiwara, M. and M. Takahashi, 2001: The role of the equatorial Kelvin wave in stratosphere-troposphere exchange in a general circulation model. *J. Geophys. Res.*, **106**, 22763-22780.
- Toyota, K., M. Takahashi and H. Akimoto, 2001: Modeling multi-phase halogen chemistry in the marine boundary layer with size-segregated aerosol module: Implications for quasi-size-dependent approach. *Geophys. Res. Letters*, **28**, 2899-2902.
- Sudo, K. and M. Takahashi, 2001: Simulation of tropospheric ozone changes during 1997-1998 El Nino: Meteorological impact on tropospheric photochemistry. *Geophys. Res. Letters*, **28**, 4091-4094.
- T. Murayama, N. Sugimoto, I. Uno, K. Kinoshita, K. Aoki, N. Hagiwara, Z. Liu, I. Matsui, T. Sakai, T. Shibata, K. Arao, B. J. Sohn, J. G. Won, S. C. Yoon, T. Li, J. Zhou, H. Hu, M. Abo, K. Iokibe, R. Koga, and Y. Iwasaka, Ground-based network observation of Asian dust events of April 1998 in east Asia, *J. Geophys. Res.*, **106** (D16), 18345-18359, 2001.
- Takemura, T., H. Okamoto, A. Numaguti, A. Higurashi, and T. Nakajima, 2001: Global

- three-dimensional simulation and radiative forcing of various aerosol species. in IRS 2000: Current Problems in Atmospheric Radiation, W. L. Smith and Y. M. Timofeyev. Eds., A. Deepak Publishing, 733-736.
- Okamoto, H., M. Yasui, H. Horie, H. Kuroiwa, H. Kumagai and S. Iwasaki, Observation of clouds by 95GHz radar and lidar systems: radius versus fall velocity, 981-984, 2001, IRS 2000 : Current Problems in Atmospheric Radiation, W. L. Smith and Y. M. Timofeyev (Eds.), 2001
- Iwasaki, S., and H. Okamoto, Analysis of lidar returns from rectangles and hexagonal ice crystals, 999-1002, IRS 2000 : Current Problems in Atmospheric Radiation, W. L. Smith and Y. M. Timofeyev (Eds.), 2001
- Iwasaki, S., and H. Okamoto, Analysis of the enhancement of backscattering by nonspherical particles with flat surfaces, *Appl. Opt.*, 40(33), 6121-6129, 2001
- Y. Xue, H. Kuze, W. Chen, S. Kaneta, T. Takamura and N. Takeuchi, 2000: Simultaneous observation of NO₂ column density and aerosol optical thickness in urban atmosphere, *Optical Review*, 7(2000) No. 1, pp.89-94.
- Sugita, T., T. Yokota, T. Nakajima, H. Nakajima, K. Waragai, M. Suzuki, A. Matsuzaki, Y. Itou, H. Saeki, and Y. Sasano, 2000: Temperature and pressure retrievals from O₂ A-band absorption measurements made by ILAS: Retrieval algorithm and error analyses. *SPIE*, **4150**, 94-105.
- Takemura, T., H. Okamoto, Y. Maruyama, A. Numaguti, A. Higurashi, and T. Nakajima, 2000: Global three-dimensional simulation of aerosol optical thickness distribution of various origins. *J. Geophys. Res.*, **105**, 17853-17873.
- Ru, J., N. Takeuchi, T. Uezono, S. Kaneta, M. Minomura, H. Kuze, T. Takamura, A. Higurashi, and T. Nakajima, 2000: Optical properties of biomass burning smoke in South-east Asia studied by NOAA/AVHRR and ground-base monitoring. *Adv. Space Res.*, **25**, 1029-1032.
- Nakajima, T., M. Tsukamoto, Y. Tsushima, A. Numaguti, and T. Kimura, 2000: Modeling of the radiative process in an atmospheric general circulation model. *Appl. Opt.*, **39**, 4869-4878.
- Higurashi, A., T. Nakajima, B. N. Holben, A. Smirnov, R. Frouin, B. Chatenet, 2000: A study of global aerosol optical climatology with two channel AVHRR remote sensing, *J. Climate*, **13**, 2011-2027.
- Kuji, M., T. Hayasaka, N. Kikuchi, T. Nakajima and M. Tanaka, 2000: The retrieval of effective particle radius and liquid water path of low-level marine clouds from NOAA AVHRR data, *J. Appl. Meteor.*, **39**, 999-1016.
- 佐野 到, 向井 苑生 "エアロゾル特性導出における偏光情報の役割", 日本リモートセンシング学会誌, 20 巻, 5 号, pp.67-79, 2000.
- 向井 苑生, 岡田 靖彦, 佐野 到 "ADEOS/OCTS と POLDER データの複合利用 1. 放射輝度測定誤差がエアロゾルリトリバブルに与える影響の評価", 日本リモートセンシング学会誌, 20 巻 4 号, pp.2-11, 2000.
- 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 巻 3 号, pp.85-93, 2000., (日本リモートセンシング学会論文賞受賞)
- 向井 苑生, 日暮 明子 "エアロゾルのリモートセンシング", 月刊 海洋, 32 巻 5 号,

- pp.302-308, 2000.
- Nakajima, T.Y., T.Nakajima, Y.Mano, K.Yoshimori, 2000:Light scattering solver for non-spherical particle based on the combined integral equation method, IRS, Current problems in atmospheric radiation, eds. W. L. Smith and Y. M. Timofeyev, A. Deepak Publishing, 221-224
- Asano, S., A. Uchiyama,Y. Mano, M. Murakami and Y. Takayama, 2000: No evidence for solar absorption anomaly by marine water clouds through collocated aircraft radiation measurements. *J. Geophys. Res.*, **105**, 14,761-14,775.
- Okamoto, H., S. Iwasaki, M. Yasui, H. Horie, H. Kuroiwa, and H. Kumagai, 95GHz cloud radar and lidar systems : preliminary results of cloud microphysics, Proc. SPIE, 4152, 355-363, 2000
- Horie, H., T. Iguchi, H. Hanado, H. Kuroiwa, H. Okamoto and H. Kumagai, Development of A 95-GHz airborne cloud profiling radar (SPIDER) -- Technical aspects --, IEICE Trans. Commun, E83-B, 2010-2020, 2000
- Kumagai, H. H. Horie, H. Kuroiwa, H. Okamoto and S. Iwasaki, Retrieval of cloud microphysics using 95-GHz cloud radar and microwave radiometer, Proc. SPIE, 4152, 364-371, 2000
- Okamoto, H., Nobuo Takeuchi, Toshihiko Takemura, Astushi Numaguchi, and Teruyuki Nakajima, Aerosol model no genjou to kadai : jisedai kansoku, Kaiyo monthly, 32, 309-314, 2000 (In Japanese, review article)
- Tadahiro Hayasaka, Yasuhiko Megro, Yasuhiro Sasano, and Tamio Takamura, 1999: Optical properties of aerosols derived from simultaneous measurements with lidar, sun photometer and aureolemeter. *Appl. Opt.*, 38(1999), 1630-1635.
- 斎藤和也, 高村民雄, 山本尉太, 真野学, 1999 : 干渉型 SAR 計測に及ぼす湿潤大気遅延効果と GPS 水蒸気情報の利用, *Journal of the Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, 38(1999), No.5, 4-19.
- Zhang Guodong, Xu Lisheng, Tamio Takamura and Ding Jilie, 1999: Single- and multiple-scattering properties of ice crystals in 1.38um wavelength and its potential applications in satellite remote sensing, *Chinese Science Bulletin*, 44(No.7), 650-654.
- Narukawa, M., K. Kawamura, N.Takeuchi, and T. Nakajima, 1999: Molecular composition of dicarboxylic acids in size-segregated aerosols collected during forest fire in Southeast Asia. *Res. Org. Geochem.*, **14**, 11-18.
- Narukawa, M., K. Kawamura, N. Takeuchi, and T. Nakajima, 1999: Distribution of dicarboxylic acids and carbon isotopic compositions in aerosols from 1997 Indonesian forest fires. *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 3101-3104.
- Nakajima, T., T. Y. Nakajima, M. Nakajima, and the GLI Algorithm Integration Team (GAIT), 1999: Development of ADEOS-II/GLI operational algorithm for earth observation. *SPIE*, **3870**, 314-322.
- Emori, S., T. Nozawa, A. Abe-Ouchi, A. Numaguti, M. Kimoto and T. Nakajima, 1999: Coupled ocean-atmosphere model experiments of future climate change with an explicit representation of sulfate aerosol scattering. *J. Meteor. Soc. Japan*, **77**, 1299-1307.
- Nakajima, T., A. Higurashi, N. Takeuchi, and J. R. Harman, 1999: Satellite and ground-based study of optical properties of 1997 Indonesian forest fire aerosols. *Geophys. Res. Lett.*, **26**,

2421-2424.

- Nakajima, T., A. Higurashi, K. Aoki, T. Endoh, H. Fukushima, M. Toratani, Y. Mitomi, B. G. Mitchell and R. Furuin, 1999: Early phase analysis of OCTS radiance data for aerosol remote sensing, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing.*, **37**, 1575-1585.
- Higurashi, A., and T. Nakajima, 1999: Development of a two channel aerosol retrieval algorithm on global scale using NOAA / AVHRR. *J. Atmos. Sci.*, **56**, 924-941.
- Meerkötter, R., U. Schumann, D. R. Doelling, P. Minnis, T. Nakajima, and Y. Tsushima, 1999: Radiative forcing by contrails. *Ann. Geophysicae*, **17**, 1080-1094.
- Takayabu, Y.N., T. Ueno, T. Nakajima, I. Matsui, Y. Tsushima, K. Aoki, N. Sugimoto, and I. Uno, 1999: Estimate of the cloud and aerosol effects on the surface radiative flux based on the measurements and the transfer model calculations. Part I: Shortwave forcing at Tateno, Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **77**, 1007-1021.
- King, M. D., Y. J. Kaufman, D. Tanré, and T. Nakajima, 1999: Remote sensing of tropospheric aerosols from space: past, present, and future. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, **80**, 2229-2259.
- Takigawa, M., M. Takahashi and H. Akiyoshi, 1999: Simulation of ozone and other chemical species using a CCSR/NIES AGCM with coupled stratospheric chemistry. *J. Geophys. Res.*, **104**, 14003-14018.

2004 年中島映至 査読付き論文以外の論文の代表的なもの

- Nakajima, T., 2004: Chapter 9. Climate and Human Activities. in "Nature and Human Communities", Takeshi Sasaki (ed.), 171-185, Springer-Verlag, Tokyo, 2004, ISBN 4-431-20720-1.
- Nakajima, T., M. Kimoto, A. Abe, and H. Hasumi, 2004: Issues of the global warming and climate change simulations. *Proc. 21st Century Center of Excellence (COE) International Symposium: Predictability of the Evolution and Variation of the Multi-scale Earth System*. 8-9 Jan. 2004, Tokyo, 232-235.
- 中島映至、杉本伸夫、清水 厚、日暮明子、岡本 創、青木一真、竹村俊彦, 2004: 大気放射収支研究におけるライダー観測の展望、招待講演、第23回レーザセンシングシンポジウム、9月16, 17日、筑波。
- Nakajima, T.Y., T. Nakajima, S. Katagiri, T. Takamura, and I. Okada, 2004: Cloud properties observed by Global Imager (GLI). SPIE
- 中島 孝、木村俊義、伊阪春海、中島映至、2004: ニューラルネットワークによる雲特性の推定試験 (1)、秋季気象学会、福岡、予稿集。
- Hoeller, R., A. Higurashi, and T. Nakajima, 2004: The GLI 380-nm channel- Application for satellite remote sensing of tropospheric aerosol. *Proc. 2004 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference*, Prague, in press.
- Nakajima, T., 2004: On the radiative forcing evaluation of anthropogenic aerosols. *Proc. ICHWC2004*, March 22-24, 2004, Seoul, 205-207.

(2)口頭発表（内容が重複しているものは除く。国際学会発表を優先。）

中島映至 2004 年分

- ①招待、口頭講演（国内 6 件、海外 10 件）
- ②ポスター発表（国内 4 件、海外 3 件）
- ③プレス発表 0 回

中島映至 1999 年後期から 2004 年前期全期間

- ①招待、口頭講演（国内 41 件、海外 72 件）
- ②ポスター発表（国内 13 件、海外 17 件）
- ③プレス発表 3 回

(2)口頭発表（内容が重複しているものは除く。国際学会発表を優先。）

- ①招待、口頭講演（国内118件、海外76件）

Takamura, T, T. Nakajima and SKYNET community group, 2004: Overview of SKYNET and its Activities, AERONET International Workshop, May 10-14,2004, Univ. Huelva, Spain(Proceedings to be published).

T. Takamura, I. Okada, T. Nakajima, H. Tsuruta, J. Zhou and G-Y.Shi, 2004: Optical characteristics of aerosols in the East Asia, The International Workshop for the ABC Gosan Campaign, Sept. 20-21, 2004, Seogwipo KAL Hotel, Jeju-do, Korea.

TAKAMURA, T., I. OKADA, Dim J. ROSTAND, T. N. NAKAJIMA and T. NAKAJIMA, 2004: Surface radiation estimated by geostationary satellite and its validation in the East Asia, Workshop on the assessment of radiation fields at the TOA and surface as derived from satellite and ground-based measurements, Oct. 4-6, 2004, Institute for Atmospheric and Climate Research, ETH, Zurich, Switzerland.

遠藤辰雄、高橋庸哉、野口 泉、古賀聖司、栗田直行・田中教行、和田 誠, Polar night investigation of chemical components in fresh snow particles and aerosol/gas in the atmosphere at Ny-Aelusond. 14th International Conference on Cloud and Precipitation (ICCP2004), Bologna, Italy, 19-23 July 2004

向井真木子, Modeling of Asian dust aerosol. IRS (International Radiation Symposium), Busan, Korea, 2004/08/23-27

B. Tatarov, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, Systematic observations of lidar ratio for tropospheric aerosols and clouds by high-spectral-resolution lidar over Tsukuba, Japan, 22nd International Laser Radar Conference (ILRC2004) July 2004 Matera, Italy (European Space Agency SP-561 ISBN 92-9092-872-7 Ipp.329-332).

T. Kobayashi, M. Imaki, Y. Takegoshi, N. Sugimoto, UV high-spectral-resolution lidar for absolute measurement of aerosol extinction coefficient and lidar ratio, 22nd International Laser Radar Conference (ILRC2004) July 2004 Matera, Italy (European Space Agency SP-561 ISBN 92-9092-872-7 Ipp.361-364).

C-B. Park, C-H. Lee, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, H. Nakane, Lidar measurements and

- trajectory analysis of dust in the middle troposphere at Suwon (127E, 37N), Korea, 22nd International Laser Radar Conference (ILRC2004) July 2004 Matera, Italy (European Space Agency SP-561 ISBN 92-9092-872-7 Ipp.527-530).
- C-H. Lee, J-H. Kim, C-B. Park, A. Shimizu, I. Matsui, N. Sugimoto, Continuous measurements of smoke of Russian forest fire by 532/1064 nm Mie scattering lidar at Suwon, Korea, 22nd International Laser Radar Conference (ILRC2004) July 2004 Matera, Italy (European Space Agency SP-561 ISBN 92-9092-872-7 Ipp.535-538).
- A. Shimizu, N. Sugimoto, I. Matsui, K. Arao, Y. Chen, Observations of dust and spherical aerosols with networked polarization lidars in Asia, 22nd International Laser Radar Conference (ILRC2004) July 2004 Matera, Italy (European Space Agency SP-561 ISBN 92-9092-872-7 Ipp.873-876.)
- N. Sugimoto, A. Shimizu, I. Matsui, Y. Chen, X. Dong, Observation of air pollution in Beijing using a continuously operated two-wavelength polarization lidar, 22nd International Laser Radar Conference (ILRC2004) July 2004 Matera, Italy (European Space Agency SP-561 ISBN 92-9092-872-7 Ipp.877-880.)
- A. Shimizu, N. Sugimoto, I. Matsui, Observation of aerosols and clouds with Mie-lidar Network, International Radiation Symposium 2004, Aug. 2004 Busan.
- N. Sugimoto, A. Shimizu, I. Matsui, X. Dong, S. Zhao, J. Zhou, C.-H. Lee, Lidar network for observing Asian dust and air-pollution aerosols, International Symposium on Sand and Dust Storm, Sep. 2004, Beijing.
- Seinfeld, J. H., G. R. Carmichael, R. Arimoto, W. C. Conant, F. J. Brechtel, T. S. Bates, T. A. Cahill, A. D. Clarke, S. J. Doherty, P. J. Flatau, B. J. Huebert, J. Kim, K. M. Markowicz, P. K. Quinn, L. M. Russell, P. B. Russell, A. Shimizu, Y. Shinozuka, C. H. Song, Y. Tang, I. Uno, A. M. Vogelmann, R. J. Weber, J.-H. Woo, and X. Y. Zhang (2004), ACE-ASIA: Regional climatic and atmospheric chemical effects of Asian dust and pollution, Bull. Amer. Meteorol. Soc., 85 (3), 367|380, doi:10.1175/BAMS-853-367.
- 清水厚、杉本伸夫、松井一郎、荒生公雄、陳 岩、趙淑莉、小型ライダーにより観測されたダスト・液的エアロゾル鉛直分布の変動、日本気象学会2004 年度春期大会、2004年5月、東京
- 左成信之、小山博巳、杉本伸夫、松井一郎「2波長レーザーライダーの特性」第21回エアロゾル科学・技術研究討論会、2004年8月、札幌
- 亀井秋秀、杉本伸夫、松井一郎、清水 厚、海洋地球研究船「みらい」航海におけるエアロゾル・雲のライダー観測、第23回レーザセンシングシンポジウム、2004年9月、つくば
- B. Tatarov, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, One year high-spectral-resolution lidar observations of the lidar ratio and the depolarization ratio of tropospheric aerosols and clouds, 第23回レーザセンシングシンポジウム、2004年9月、つくば
- 杉本伸夫、松井一郎、清水 厚、2波長偏光ライダーネットワークによる東アジアのエアロゾルの動態の観測、第23回レーザセンシングシンポジウム、2004年9月、つくば
- 清水 厚、杉本伸夫、松井一郎、航空機搭載ライダーによる雲・エアロゾルの広域観測、第23回レーザセンシングシンポジウム、2004年9月、つくば
- Shimizu A., N. Sugimoto, I. Matsui, A. Kimio, X. Dong, J. Zhou, C-H. Lee, and M. Hashizume

- (2004), Monitoring of aerosol distribution in Asia with networked Mie lidars, Asian Lidar Network Conference 2004, Hon Kong, China.
- Sugimoto, N. (2004) Lidar network strategy for Asian dust forecast (realtime model validation and assimilation), Asian Lidar Network Conference 2004, Hon Kong, China.
- Tatarov, B., N. Sugimoto, I. Matsui and A. Shimizu (2004), Measurements of lidar ratio for tropospheric aerosols by high-spectral-resolution lidar, Asian Lidar Network Conference 2004, Hon Kong, China.
- Zhao, S., N. Sugimoto, A. Shimizu, I. Matsu (2004), Observations and analysis of dust by the lidar, auto-monitoring instruments and the CFORS model in Beijing in 2003, Asian Lidar Network Conference 2004, Hon Kong, China.
- T. Murayama and K. Wada, Observation of dust, smoke, and urban aerosols with multi-wavelength Raman lidar in Tokyo, Proceedings of The CERES International Symposium on Remote Sensing- Monitoring of Environmental Change in Asia-, pp. 169-174, Chiba University, 2004.
- T. Murayama and K. Wada, Characterization of tropospheric aerosols by a multi-wavelength Raman and polarization lidar, Asian Lidar Network Conference 2004, Hong Kong City
- 谷本直隆、大原利眞、鶴野伊津志、菅田誠治：東アジアにおける炭素粒子動態のモデル解析，第14回大気化学討論会，豊川，2004.
- 谷本直隆、大原利眞、鶴野伊津志、植松光夫、菅田誠治：東アジアにおける炭素粒子の年間シミュレーション，第45回大気環境学会年会，秋田，2004.
- Takemura T., 2004: Development of global aerosol transport-radiation model (Award lecture for IRC Young Scientist Award). International Radiation Symposium 2004, Busan, Korea, 23-27 August.
- Takemura, T., T. Nakajima, and T. Nozawa, 2004: Simulation of climate change by aerosol direct and indirect effects with aerosol transport-radiation model. International Radiation Symposium 2004, Busan, Korea, 23-27 August.
- Takemura, T., and T. Nozawa, 2004: Analysis of climate change by aerosol direct and indirect effects with aerosol transport-radiation model. 14th International Conference on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, 19-23 July.
- Takemura, T., T. Nozawa, S. Emori, and T. Nakajima, 2004: Analysis of climate change by aerosol direct and indirect effects with aerosol transport radiation model. AERONET Workshop, Huelva, Spain, 10-13 May.
- Takemura, T., T. Nozawa, S. Emori, and T. Nakajima, 2004: Climate response to aerosol direct and indirect effects with global aerosol radiation-transport model. 2nd AEROCOM Workshop, Ispra, Italy, 10-12 March.
- 竹村俊彦，野沢徹，江守正多，久芳奈遠美，黒川純一：全球3次元エアロゾル輸送・放射モデルを用いた直接・間接効果による気候応答の解析，第14回大気化学シンポジウム，豊川市民プラザ，2004年1月7-9日．
- A. Uchiyama, A. Yamazaki, H. Togawa, and J. Asano, Continuous measurement of aerosol characteristics by sky-radiometer network, 1st AOGS Annual Meeting, Singapore, 5-9 July 2004.
- A. Uchiyama, A. Yamazaki, H. Togawa, and J. Asano, Continuous measurement of aerosol

- characteristics by ADEC sky-radiometer network, International Symposium on Sand and Dust Storm, Beijing, China, 12-14 September 2004.
- Shiro Hatakeyama, Aerial Observation of Aerosol and Atmospheric Pollutants in East Asia (Plenary Presentation) 16th International Conference on Nucleation & Atmospheric Aerosols (Kyoto) (2004)
- T. Miyoshi, A. Takami, A. Shimono, and S. Hatakeyama, Aerosol Size and Composition Measurements in Fukue Island Using an Aerosol Mass Spectrometer 16th International Conference on Nucleation & Atmospheric Aerosols (Kyoto) (2004)
- Shiro Hatakeyama, Cape Hedo Super Site and measurements of aerosols there Jeju ABC Workshop 2004 (Jeju, Korea)
- 三好猛雄、高見昭憲、下野彰夫、畠山史郎：エアロゾル質量分析計を用いた APEX 期間中の大気エアロゾルの観測、第 14 回大気化学シンポジウム（豊川）(2004)
- 畠山史郎、高見昭憲、向井人史、三好猛雄、王瑋：中国－東シナ海－沖縄を長距離輸送されるエアロゾルの SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ および Ca^{2+} のバランス、第 10 回大気化学討論会（東京）(2004)
- 三好猛雄、高見昭憲、下野彰夫、畠山史郎：春季における大気エアロゾルの観測、第 10 回大気化学討論会（東京）(2004)
- Nofel Lagrosas, Gerry Bagtasa, Yotsumi Yoshii, Shunsuke Fukagawa, Hiroaki Kuze, Nobuo Takeuchi, Suekazo Naito, Akihiro Sone, Hirofumi Kan; CORRELATION STUDY BETWEEN SUSPENDED PARTICULATE MATTER AND PORTABLE AUTOMATED LIDAR, 22nd International Laser Radar Conference (ILRC22), S3P-31, Matera, Italy, July 12 - 16, 2004.
- Okamoto, H., Study of cloud microphysical structure with cloud profiling radar and lidar : Mirai cruise, IRS 2004, プサン、2004.8
- Okamoto, H., Mirai cruise for clouds: results and plans, Cloudsat science team meeting, ロスアンジェルス、2004.5
- Okamoto, H., Radar-lidar study of clouds, ローマ物理学研究所セミナー、ローマ、2004.4,
- Okamoto, H. Recent progress in analyses for Radar/Lidar data for eCare JMAG, The fifth meeting of the Joint Mission Advisory Group (JMAG) for EarthCate, 東京、2004.2
- 鶴田治雄、米村正一郎、須藤重人、岡田 格、高村民雄、竹内延夫、菊池信行、早坂忠裕、Barry Huebert, Jena Kline, 植松光夫、太田幸雄、矢吹正教、中島映至 (2004): 奄美・福江・辺戸のエアロゾルデータの検討、福江・奄美・辺戸データ検討会、京都、2004 年 6 月 (in CD-R)
- 鶴田治雄、須藤重人、米村正一郎、菊池信行、白砂裕一郎、平野耕一郎、早坂忠裕、高村民雄、岡田 格、中島映至 (2004): 奄美大島で 2004 年春季に測定した大気エアロゾルの化学組成とその光学的特性、第 45 回大気環境学会年会講演予稿集、2004 年 10 月
- 奄美大島で APEX 総合観測期間中に測定した大気エアロゾルの化学組成と発生源推定および光学的特徴 (2004): 鶴田治雄、須藤重人、米村正一郎、白砂裕一郎、平野耕一郎、世良耕一郎、二ツ川章二、前田高尚、高村民雄、竹内延夫、中島映至(2004): 第 14 回大気化学シンポジウム講演予稿集、名古屋大学太陽地球環境研究所、2004 年 1 月
- 鶴田治雄、須藤重人、米村正一郎、白砂裕一郎、平野耕一郎、世良耕一郎、二ツ川章二、

- 前田高尚、高村民雄、中島映至 (2004) : APEX 総合観測期間中に奄美大島で測定した春季の大気エアロソル (2) PIXE 分析による微量元素中の土壌構成元素と人為起源元素、日本気象学会 2004 年秋季学会予稿集
- 鶴田治雄、須藤重人、米村正一郎、白砂裕一郎、平野耕一郎、世良耕一郎、二ツ川章二、前田高尚、兼保直樹、中島映至 (2004) : APEX 総合観測期間中に奄美大島で測定した春季の大気エアロソル : (1)化学組成と発生源推定、日本気象学会 2004 年春季学会予稿集
- T. Takamura, I. Okada, T. Takano (Chiba Univ.), S. Ohta, S. Yamagata (Hokkaido Univ.), H. Tsuruta, H. Sudo (NIAES), N. Sugimoto (NIES), T. Nakajima (Univ. Tokyo), 2003: Ground observation at Amami-Oshima on Cloud, Aerosol and Radiation during APEX-E3. The APEX-RIHN Joint International Workshop for Atmospheric Aerosols and Clouds (The 6th APEX international Workshop), 2003.6.25-27, Awaji Yumebutai International Conference Center, Hyogo, Japan.
- Kazuma Aoki, Teruyuki Nakajima, Tamio Takamura, Tatuo Endoh, 2003: Aerosol optical characteristics from the SKYNET Sky radiometer Archives. The APEX-RIHN Joint International Workshop for Atmospheric Aerosols and Clouds (The 6th APEX international Workshop), 2003.6.25-27, Awaji Yumebutai International Conference Center, Hyogo, Japan
- G. Pandithurai, R.T. Pinker, T. Takamura, and P.C.S. Devara, 2003: Aerosol radiative forcing over an urban station in India and its comparison with INDOEX estimates. The APEX-RIHN Joint International Workshop for Atmospheric Aerosols and Clouds (The 6th APEX international Workshop), 2003.6.25-27, Awaji Yumebutai International Conference Center, Hyogo, Japan
- T. TAKAMURA, N. TSUJIOKA, I. OKADA, Toshiyuki MURAYAMA and Teruyuki NAKAJIMA: 2003: Effective radius of cloud inferred from simultaneous observation of liquid water path and solar radiation, IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) 2003 General Assembly, (Sapporo, Japan), MI0x (2003. Jul.4)
- Kurt SAKAI, Hiroshi KUMAGAI, Tamio TAKAMURA, Yuji NAKANISHI, Teruyuki NAKAJIMA, 2003: Development of a cloud profiling FM-CW radar at 95GHz and its observation results, IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) 2003 General Assembly, (Sapporo, Japan), MI02 (2003. Jul.4).
- Toshiaki TAKANO, Yumiro SUGA, Ken-ichi AKITA, Youhei KAWAMURA, Kurt SAKAI, Hiroshi KUMAGAI, Hiroshi KUROIWA, Yuichi OHNO, Hiroaki HORIE, Tamio TAKAMURA, Yuji NAKANISHI, Teruyuki NAKAJIMA, 2003: Development of a cloud profiling FM-CW radar at 95GHz and its performance, International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC) 2003 (Korea), WII-OE, ICJP-0129, (2003. Jul.9).
- Kurt SAKAI, Hiroshi KUMAGAI, Hiroshi KUROIWA, Yuichi OHNO, Hiroaki HORIE, Tamio TAKAMURA, Yuji NAKANISHI, Teruyuki NAKAJIMA, 2003: Development of a cloud profiling FM-CW radar at 95GHz and its first results, Asia Pacific Radiation Symposium (APRS) 2003 (Xian, China), (2003. Aug.26).
- Naoya Tsujioka, Tamio Takamura, Itaru Okada, Toshiyuki Murayama, Nobuo Sugimoto, Teruyuki Nakajima, 2003: Estimation of cloud optical parameters using combination of

- Liquid Water Path (*LWP*) and solar radiation, The International Society for Optical Engineering (SPIE) Symposium on Remote Sensing 2003 (Barcelona, Spain), 5235-12,(2003.Sep.12).
- Shoji ASANO, Masay KOJIMA, Yukio OSHIDA, and Tamio TAKAMURA, 2003: Validation experiment for satellite remote sensing and numerical models of low-level clouds: Shipboard observation of YAMASE clouds. Proceedings of the CEReS International Symposium on Remote Sensing, 135-138, The CEReS (Center for Environmental Remote Sensing, Chiba Univ.) International Symp. Remote Sensing Monitoring of Environmental Change in Asia (Chiba, Japan), (2003. Dec.17.).
- Nas-Urt Tugjsuren and Tamio Takamura, 2003: Aerosol pollution of the atmosphere and its sources features in Mongolia, Proceedings of the CEReS International Symposium on Remote Sensing,153-159, The CEReS (Center for Environmental Remote Sensing, Chiba Univ.) International Symp. Remote Sensing Monitoring of Environmental Change in Asia (Chiba, Japan), (2003. Dec.17.).
- 向井真木子, A STUDY OF THE KOSA EVENTS USING GCM SIMULATIONS. ASSAQ, Tsukuba, Japan, 2003/02/11-13
- Nakajima, T.Y., T. Takemura, I. Uno, H. Okamoto, T. Nakajima,2003: Cloud parameters obtained from satellite remote-sensing during APEX-E3, 6thAPEX-RIHN workshop, (Hyogo, Japan)
- Nakajima, T. Y., 2003 : Cloud distributions and properties around Asian Pacific region derived from satellite remote sensing, Asian Pacific Radiation Symposium 2003, (Xian, China)
- 中島孝,中島映至、内山明博、高村民雄,2003:宇宙から観測する雲特性, 日本 気象学会春季大会 (於エポカル筑波)
- 中島孝、中島映至,2003:Midori-II搭載GLIが観測した雲特性, 日本リモートセンシング学会第35回学術講演会 (於ハイブ長岡)
- Shimizu, A., N. Sugimoto, I. Matsui, K. Arao, Y. Chen (2003), Continuous Observation of Vertical Distribution of Asian Dust by Automated Polarization Lidars, 2nd International Workshop on Mineral Dust, Paris, France.
- Sugimoto, N., A. Shimizu, I. Matsui, I. Uno, K. Arao, S. Zhao, J. Zhou, C-H. Lee (2003), Network Observations of Asian Dust and Anthropogenic Aerosols with Automated Two-wavelength Dual-Polarization Lidars, The 3rd Workshop on Aeolian Dust Experiment and Climatic Impact, Jeju-do, Korea, pp.58-60.
- Sugimoto, N., A. Shimizu, I. Matsui and Y. Chen (2003), A Method for Estimating Mineral Dust Concentration in Aerosol Mixture Using a Polarization Lidar, The 5th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, Taipei, vol.2 p.727.
- Sugimoto, N., A. Shimizu, I. Matsui, K. Arao, Y. Chen, S. Zhao, J. Zhou, and C-H. Lee (2003), Study of Dust Transport Using a Network of Continuously-Operated Polarization Lidars, The 2nd International Workshop on Sandstorms and Associated Dustfall, Nagoya, p.23.
- Park, C-B, C-H. Lee, I. Matsui, A. Shimizu and N. Sugimoto (2003), ACA lidar system for continuous monitoring of aerosols, dust and cloud in troposphere at Suwon, Korea, The 5th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, Taipei, vol.2 p.729.
- 上明戸優子、立花義裕、荻野慎也、清水厚、杉本伸夫(2003)、インドシナ半島での乾季か

- ら雨季移行時における逆転層と大気放射過程、日本気象学会 2003年度秋季大会（仙台）。
- 松井一郎、清水厚、杉本伸夫(2003)、「みらい」搭載ライダーによる太平洋域の雲、エアロゾルのグランドトゥルースデータの構築、海洋科学技術センター、ブルーアースシンポジウム、第7回みらいシンポジウム、（神奈川）。
- 松井一郎、清水厚、杉本伸夫(2003)、高速データ処理ミー散乱ライダーによる大気境界層、遷移層の観測、第22回レーザーセンシングシンポジウム（長野）。
- 松井一郎、杉本伸夫、清水厚、勝俣昌巳、米山邦夫(2003)、ミー散乱ライダーによる熱帯海洋上での大気境界層高度と遷移層厚さの観測、日本気象学会 2003年度春季大会（つくば）。
- 松見豊、鈴木崇文、西田哲、杉本伸夫、松井一郎、近藤豊(2003)、黄砂エアロゾルの単一粒子レーザー質量分析装置による化学組成解析、エアロゾル科学・技術研究討論会（つくば）。
- 西澤智明、岡本創、杉本伸夫、松井一郎、清水厚(2003)、MIRAI, MR01-K02観測期間における雲層下エアロゾル、日本気象学会2003年度春季大会（つくば）。
- 西澤智明、岡本創、杉本伸夫、松井一郎、清水厚(2003)、MIRAI, MR01-K02観測期間における2波長ライダーからのエアロゾル導出、海洋科学技術センター、ブルーアースシンポジウム、第7回みらいシンポジウム、神奈川
- 岡本創、西澤智明、熊谷博、黒岩博司、亀井秋秀、杉本伸夫、松井一郎、清水厚、中島映至(2003)、雲レーダ・ライダーを用いた太平洋域における雲同時観測結果、海洋科学技術センター、ブルーアースシンポジウム、第7回みらいシンポジウム、神奈川
- 清水厚、杉本伸夫、松井一郎(2003)、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、日本気象学会2003年度秋季大会（仙台）。
- 清水厚、杉本伸夫、松井一郎、荒生公雄、陳岩、周軍(2003)、東アジアにおけるライダーネットワークによるエアロゾル観測、第22回レーザーセンシングシンポジウム（長野）。
- 清水厚、杉本伸夫、松井一郎(2003)、「みらい」搭載2波長偏光ライダーによる雲・エアロゾルの鉛直分布観測、2002年度日本気象学会関西支部・海洋気象学会合同例会（神戸）。
- 清水厚、杉本伸夫、松井一郎(2003)、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、日本気象学会2003年度春季大会（つくば）。
- 杉本伸夫、松井一郎、清水厚、荒生公雄、鶴野伊津志、陳岩(2003)、2003年春の黄砂現象の解析：偏光ライダーによる連続観測、日本気象学会 2003年度秋季大会（仙台）。
- 杉本伸夫、松井一郎、清水厚(2003)、ライダーによる海洋上の積雲、層積雲の観測、日本気象学会2003年度春季大会（つくば）。
- 杉本伸夫、松井一郎、清水厚、熊谷博、岡本創(2003)、航空機搭載ミー散乱ライダーと雲レーダーによる雲微物理量の観測：ライダーの開発と観測第22回レーザーセンシングシンポジウム（長野）。
- 趙淑莉、杉本伸夫、清水厚、松井一郎、An analysis of dust phenomena in Beijing in 2003, 第10回大気ライダー観測研究会（八王子）。
- T. Murayama, S. J. Masonis, T. L. Anderson, H. Kuze, M. Abo, and N. Sugimoto, An intercomparison between ground-based lidars and in-situ measurements of aerosol optical properties during ACE-Asia, 2001, 6th International Symposium on Tropospheric Profiling:

- Need and Technologies, Leipzig, Germany, pp. 219-221, 2003.
- Takemura, T., 2003: Analysis of climate response to aerosol direct and indirect effects by aerosol transport radiation model. AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 8-12 December.
- 竹村俊彦, 野沢徹, 江守正多: 全球3次元エアロゾル輸送・放射モデルを用いたエアロゾル直接・間接効果による気候変動の解析, 日本気象学会2003年秋季大会, 宮城県民会館, 2003年10月15-17日.
- 竹村俊彦, 野沢徹, 久芳奈遠美: 全球3次元エアロゾル輸送・放射モデルを用いた雲・エアロゾル相互作用のパラメタリゼーション, 日本気象学会2003年秋季大会, 宮城県民会館, 2003年10月15-17日.
- Takemura, T. and T. Nakajima, 2003: Aerosol radiation-transport model on Earth Simulator. Workshop on Global Aerosol Measurements for Climate Studies - Present and Future, Paris, France, 15-18 September.
- Takemura, T., 2003: Analysis of aerosol-climate interaction by on-line aerosol transport-radiation model. 23rd General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG2003), Sapporo, Japan, 30 June-11 July.
- Takemura, T., 2003: Analysis of aerosol-climate interaction in East Asia by SPRINTARS. 6th APEX International Workshop, Awajishima, Japan, 25-27 June.
- Takemura, T., 2003: Overview of SPRINTARS. 1st AEROCOM Workshop, Paris, France, 2-3 June.
- Higurashi, A.: Aerosol type classification with satellite four channel data, Seoul National University, November 24, 2003(Invited).
- S. Hatakeyama, Aerial observation of atmospheric pollutants over Bohai, China based on a Japan-China cooperative research, 8th Int. Conf. Atmos. Sci. Appl. Air Quality (Tsukuba) (2003)
- S. Hatakeyama, Transport of atmospheric pollutants from East Asia, Awaji Symposium "Space Platform for Water and Climate Observation" (Higashiura) (2003)
- S. Hatakeyama and A. Takami: SO₂ measured in APEX-E3 aerial observations, The APEX-RIHN Joint International Workshop for Atmospheric Aerosols and Clouds (the 6th APEX International Workshop)(Higashiura) (2003)
- S. Hatakeyama, A. Takami, W. Wang, and D. Tang: Aerial observation of gaseous and particulate pollutants in Chian, The APEX-RIHN Joint International Workshop for Atmospheric Aerosols and Clouds (the 6th APEX International Workshop) (Higashiura) (2003)
- A. Takami, T. Miyoshi, A. Shimono, and S. Hatakeyama: Measurements of aerosol composition at Fukue Island during the APEX period using an aerosol mass spectrometer, The APEX-RIHN Joint International Workshop for Atmospheric Aerosols and Clouds (the 6th APEX International Workshop) (Higashiura) (2003)
- S. Hatakeyama, A. Takami, W. Wang, and D. Tang: Aircraft observation of gaseous and particulate pollutants over Bohai, China based on an LTP cooperative research, 10th National Meeting of Atmospheric Environment of China (Nanning, China) (2003)
- S. Hatakeyama, A. Takami, H. Tanimoto, and K. Kita: SO₂ over the western part of the Sea of Japan: Results of PEACE-A aircraft observation 10th National Meeting of Atmospheric Environment of China (Nanning, China) (2003)

- S. Hatakeyama, A. Takami, and T. Miyoshi: Measurements of chemical composition of aerosols in Okinawa, ABC workshop (Tokyo) (2003)
- S. Hatakeyama, A. Takami, W. Wang and D. Tang: Aerial observation of gaseous and particulate pollutants around Shanghai, China, ABC workshop (Tokyo) (2003)
- 高見昭憲、三好猛雄、下野彰夫、畠山史郎: エアロゾル質量分析計を用いた福江島でのエアロゾルの観測, 第20回エアロゾル科学・技術研究討論会(つくば) (2003)
- 高見昭憲、三好猛雄、下野彰夫、畠山史郎: エアロゾル質量分析計を用いた大気エアロゾルの観測, 化学工学会第36回秋季大会(神戸) (2003)
- N. Takeuchi, M. Yabuki, Y. Furusawa, H. Kuze, S. Naito, T. Nakajima, A. Chabangborn, S. Nakapandugrat, M. Hashizume, J. Liu, W. Liu, Seasonal variation of chemical component and optical properties of SPM in Thailand and China, The APEX-RIHN Joint International Workshop for Atmospheric Aerosols and Clouds, (the 6h APEX International Workshop) 2003.06.25-27, Awaji
- N. Takeuchi, M. Yabuki, H. Kuze, S. Naito, S. Ogino, A. Chabangborn, M. Hashizume, T. Nakajima, Seasonal variation of chemical component and optical properties of SPM at Sri Samrong, SKYNET Data Analysis Workshop, November 12, 2003, Kohn Kaen, Thailand
- Automatic correction of optical alignment deterioration of a continuously operated Mie lidar: Nofel Lagrosas, Nobuo Takeuchi, Yotsumi Yoshii, Hiroaki Kuze, Suekazu Naito, Jun Okazaki, Akihiro Sone, Hirofumi Kan, Pacific Rim CLEO (2003, Dec. 15-19, Taipei, Grand Hotel) Dec. 19, F2D4
- Okamoto, H., T. Nishizawa, S. Sato, H. Kumagai, H. Kuroiwa, A. Kamei, Y. Ohsaki, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, T. Nakajima, Mirai cruise with synergy use of cloud radar and lidar for studies of clouds and aerosols, IUGG, 札幌、2003.7
- Okamoto, H., H. Kumagai, N. Sugimoto, T. Nakajima, cloud studies during Mirai cruises and Apex E3/ECAV by using cloud radar and lidar, APEX-RIHN Joint International Workshop, 淡路、2003.6
- Okamoto, H. Analysis of radar/lidar for APEX-E3/ECAV, ESA-Earthcare JMag, ノルドバイク、2003.6
- Okamoto, H. Mirai cruise, CloudSAT science team meeting, コロラド、2003.5
- H. Tsuruta, S. Sudo, Y. Shirasuna, K. Hirano, K. Sera, S. Futatsugawa and T. Maeda (2003): Characterization and Episodes of Atmospheric Aerosols measured at Amami-Oshima during 15 Mar.-16 Apr. 2003, The APEX-RIHN Joint International Workshop for Atmospheric Aerosols and Clouds (The 6th APEX International Workshop), Awaji, Japan, 25-27 June, 2003 (in CD-R)
- H. Tsuruta, S. Sudo, S. Yonemura, Y. Shirasuna, K. Hirano, K. Sera, S. Futatsugawa, T. Maeda (2003): Chemical analysis of soil dust in atmospheric aerosols measured at Amami-Oshima in April of 2001 and 2003, The Second International Workshop on Sandstorms and Associated Dustfall, Nagoya Port Building, Minato-ku, Nagoya, Japan, 13-15 Nov., 2003
- H. Tsuruta, S. Sudo, S. Yonemura, Y. Shirasuna, K. Hirano, K. Sera, S. Futatsugawa, T. Maeda (2003): Characterization of atmospheric aerosols at Amami-Oshima during March-April 2003 under the APEX E3 field Campaign Program, ABC Workshop, Univ. of Tokyo, Japan, 17-18 Nov., 2003 (in CD-R)

- Haruo Tsuruta, Shigeto Sudo, Seiichiro Yonemura, Takahisa Maeda, Naoki Kaneyasu, Yuichiro Sirasuna, Koichiro Hirano, Koichiro Sera, Shoji Futatsugawa, Ryoichi Imasu (2003): Field Measurements of Atmospheric Trace Gases and Aerosols at Amami-Oshima in APEX-E2, IUGG 2003, Sapporo, Japan, 30 June-11 July, 2003 (in CD-R)
- H. Tsuruta, S. Sudo, Y. Shirasuna, K. Hirano, K. Sera, S. Futatsugawa and T. Maeda (2003): Characterization of atmospheric aerosols at Amami-Oshima during APEX campaign field measurement of E1, E2, and E3, SKYNET Data Analysis Workshop, Khon Kaen, Thailand, 11-13 Nov., 2003 (in CD-R)
- Jena Kline, Barry Huebert, Steve Howell, Mitsuo Uematsu, Haruo Tsuruta (2003): Parameters for Modeling Aerosol Absorption: Measurements in Biomass Burning Smoke, Urban/Industrial Plumes, and NW Pacific Marine Airmasses, in AGU fall Meeting, San-Francisco, Dec. 2003.
- 鶴田治雄, 須藤重人, 白砂裕一郎、平野耕一郎、世良耕一郎、二ツ川章二、前田高尚 (2003):奄美大島で 2003 年春季に測定した大気エアロソル中の化学組成とその発生源推定、第 44 回大気環境学会年会講演予稿集、2003 年 9 月
- Takahisa Maeda(AIST), Analyses of Regional Air Pollution by Sulfur Oxides in East Asia using A Long-Range Transport Model, 1st International Symposium of the Kanazawa University 21st-century COE Program, Kanazawa, Japan, 18 March 2003
- T. Kobayashi, “Progress in high-spectral resolution lidars for environmental sensing”, Proceedings of CLEO/PR2003, (invited) TH4D-(10)-5, Taipei, Taiwan, p641 (2003.12)
- 百海浩二, 栗原康浩, 今城勝治, 小林喬郎, “UV 域高スペクトル分解能ライダーによる大気散乱特性の高精度計測法 II”, 2003 年春季 第 50 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 29p-YR-11/III, p1200 (2003.3)
- 赤松幸生, 廣瀬葉子, 瀬戸島政博, 小林喬郎, 今城勝治 “ドップラーライダーによる 2 次元風速データと地理条件の関係分析”, 日本写真測量学会平成 15 年度秋季学術講演会論文集,A-6, pp.21-24 (2003.10)
- 今城勝治, 栗原康浩, 小林喬郎, “紫外域ドップラーライダーによる都市域風速の 2 次元分布計測”, 第 22 回レーザセンシングシンポジウム予稿集, O-6-05, pp.155-156 (2003.6)
- 華灯鑫, 内田勝, 戴琮, 小林喬郎, "対流圏気温計測のための UV 域レイリー散乱ライダーの開発", 第 22 回レーザセンシングシンポジウム予稿集, O-5-13, pp.35-36 (2003.6)
- T. Kobayashi, M. Imaki, “Direct-detection Doppler lidar for high spatial-resolution profiling of wind in the troposphere”, Technical Digest of CLEO, CTuK5, Maryland, USA (2003.6)
- 赤松幸生, 瀬戸島政博, 廣瀬葉子, 小林喬郎, 今城勝治 “ドップラーライダーによる 2 次元の風速測定と地理的解析の試行”, 日本リモートセンシング学会 第 34 回学術講演回論文集 pp.203-204 (2003.5)
- 内田勝, 華灯鑫, 小林喬郎, "UV域レイリー散乱気温ライダーの高精度化", 2003年春季 第50回応用物理学関係連合
- H., Okamoto, T. Nishizawa, H. Kuroiwa, A. Kamei, Y. Ohsaki, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, T. Nakajima, T. Takemura, ブルーアースシンポジウム, 横浜, 2003, “雲レーダを用いた太平洋域における雲同時観測結果”
- Okamoto, H., CloudSat/CALIPSO Joint Science Team Meeting, Colorado, US, 2003, “Mirai cruises”.

- T. Takano, Y. Suga, K. Akita, Y. Kawamura, K. Sakai, H. Kumagai, Y. Ohno, T. Takamura, Y. Nakanishi, T. Nakajima, N. Sugimoto, Cloud profiling observations with the 95GHz FM-CW radar at Amami, , APEX-RIHN Workshop 2003 (Awaji, Japan), (2003.June 25).
- T. Takano, Y. Suga, K. Akita, Y. Kawamura, K. Sakai, H. Kumagai, T. Takamura, Y. Nakanishi, T. Nakajima, Development of a cloud profiling FM-CW radar at 95GHz and its observation results IUGG 2003 General Assembly (Sapporo, Japan), MI02 (2003. Jul.4).
- T. Takano, Y. Suga, K. Akita, Y. Kawamura, K. Sakai, H. Kumagai, H. Kuroiowa, Y. Ohno, H. Horie, T. Takamura, Y. Nakanishi, T. Nakajima; International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC) 2003 (Korea), WII-OE, ICJP-0129,(2003. Jul.9).
- T. Takano, Y. Suga, K. Akita, Y. Kawamura, K. Sakai, H. Kumagai H. Kuroiwa, Y. Ohno, H. Horie, T. Takamura, Y. Nakanishi, T. Nakajima: Development of a cloud profiling FM-CW radar at 95GHz and its first results; Asia Pacific Radiation Symposium (APRS) 2003(Xian, China), (2003.Aug.26).
- T. Takano, Y. Suga, K. Akita, Y. Kawamura, H. Kumagai, T. Takamura, Y. Nakanishi, T. Nakajima: First observational results with the newly developed cloud profiling FM-CW radar at 95GHz; The International Society for Optical Engineering (SPIE) Symposium on Remote Sensing 2003 (Barcelona, Spain), 5235-67, (2003.Sep.12).
- T. Takano, Y. Suga, K. Akita, Y. Kawamura, H. Kubo, H. Kumagai, T. Takamura, Y. Nakanishi, T. Nakajima: Performance of the Developed 95GHz FM-CW Cloud Profiling Radar; The CEReS (Center for Environmental Remote Sensing, Chiba Univ.) International Symp. Remote Sensing Monitoring of Environmental Change in Asia (Chiba, Japan), (2003. Dec.17.).
- 雲粒子観測用 95GHz FM-CW レーダの感度; 秋田健一, 鷹野敏明、須賀弓郎, 河村洋平, 高村民雄, 熊谷博、黒岩博司、大野裕一、堀江宏昭、中西裕治; 日本気象学会2003年春季大会 (つくば市), P159, (2003年5月21日)
- 河村洋平, 須賀弓郎, 秋田健一, 鷹野敏明、高村民雄, 熊谷博、中西裕治: 雲粒子観測用 95GHz FM-CW レーダのデータ取得法と効率, 日本気象学会 2003 年春季大会 (つくば市), P160, (2003 年 5 月 21 日)
- 鷹野敏明、須賀弓郎, 秋田健一, 河村洋平, 高村民雄, 熊谷博、黒岩博司、大野裕一、堀江宏昭、中西裕治, 中島映至: 雲粒子観測用 95GHz FM-CW レーダによる初期観測結果, 日本気象学会 2003 年春季大会 (つくば市), P271, (2003 年 5 月 21 日)
- 鷹野敏明、須賀弓郎, 秋田健一, 河村洋平, 高村民雄: 雲粒子観測用 95GHz FM-CW レーダの初期観測結果と性能, 日本大気電気学会 第 69 回研究会 (福岡県春日市), No.5, (2003 年 7 月 17 日).
- T. Takamura, T. Nakajima, I. Okada, A. Uchiyama, N. Sugimoto, G-Y Shi, J. Zhou, 2002: Aerosol -cloud-radiation study using the SKYNET data. The 1st ADEC international workshop, 17-18 January, 2002, Global Environment College Hall, Tokyo.
- G. Pandithurai, P.C.S. Devara, T. Takamura, and R.T. Pinker, 2002: Observational Estimate of Direct Aerosol Radiative Forcing over a Tropical Urban Station in India, "Aerosol Remote Sensing in Global Change & Atmospheric Pollution" organized by Indian Aerosol Science and Technology Association (IASTA) , Thiruvananthapuram, India, September 18-20, 2002.

- I.Okada, T. Takamura , T. Inoue, and T.N. Nakajima, 2002: Development of a quasi real time system for estimate of the surface solar flux using GMS-5, SPIE's Third International Asia-Pacific Symposium on Remote Sensing of the Atmosphere, Environment, and Space, 23-27 October 2002, Dragon Hotel, Hagzhou, China
- Makoto Kuji, Tamio Takamura, Itaru Okada, Akihiro Uchiyama, 2002: The Availability of Precipitable Water Retrieval Using Split-window Data(AE105), SPIE's Third International Asia-Pacific Symposium on Remote Sensing of the Atmosphere, Environment, and Space, 23-27 October 2002, Dragon Hotel, Hagzhou, China
- Toshiaki Takano, Yumiro Suga, Kentaro Takei, Youhei Kawamura, Hiroshi Kumagai, Tamio Takamura, Teruyuki Nakajima, 2002: Development of a Cloud Profiling FM-CW Radar at 95 GHz and Its Preliminary Results, SPIE's Third International Asia-Pacific Symposium on Remote Sensing of the Atmosphere, Environment, and Space, 23-27 October 2002, Dragon Hotel, Hagzhou, China
- Nakajima, T.Y. and T. nakajima, 2002: Multi-channel analyses of warm cloud droplet size for global scale , AMS 11th Conference on Cloud Physics
- Nakajima, T.Y., T.Nakajima, Y.Mano, K.Yoshimori, A.Kokhanovsky,2002: Development of light scattering algorithms for non-spherical cloud particles: approximation and exact solutions, AMS 11th Conference on Atmospheric Radiation.
- Nakajima, T.Y., T.Nakajima, H.Masunaga, A.Higurashi, Y.Liu, 2002:Cloud and aerosol retrievals from ADEOS2/GLI and other sensors, IGARSS 2002
- Nakajima, T. Y., A. Higurashi, H. Masunaga, 2002: Comparison of cloud parameters between satellite measurements and airborne/ground measurements, 5th APEX workshop, (Miyazaki, Japan)
- Nakajima, T.Y, 2002:Possible applications derived from a passive imager, 1st EarthCARE workshop (Tokyo, Japan)
- 中島孝、村上浩、堀雅裕、中島映至、青木輝夫、田中昭彦,2002:放射伝達計算を用いた疑似 GLI観測データの作成（その2）, 日本気象学会秋季大会（於北海道大学）
- Shimizu A., N. Sugimoto, I. Matsui, K. Arao and Y. Chen (2002), Continuous Lidar Observations of Asian Dust in Beijing, Nagasaki and Tsukuba, Lidar Remote Sensing for Industry and Environment Monitoring III, Hangzhou, China, SPIE 4893, pp. 448-455.
- T. Murayama, N. Sugimoto, A. Shimizu, H. Fukushima, M. Toratani, H. Kobayashi, I. Uno, N. Kagawa, S.-C. Yoon, S.-W. Kim, Y.-J. Kim, T. Shibata, E. J. Welton, and I. N. Sokolik, Lidar network observation of Asian dust events during ACE-Asia intensive observation period, 6th International Aerosol Conference, Abstract Vol.2 (editor Chiu-Sen Wang), pp. 1215-1216, Taipei, Taiwan, 2002.
- Takemura, T., I. Uno, and T. Nakajima, 2002: Distribution and radiative forcing of Asian dust and anthropogenic aerosols from East Asia simulated by SPRINTARS. AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 6-10 December.
- Takemura, T., T. Nakajima, and I. Uno, 2002: Simulation of aerosol distributions during ACE-Asia and APEX-E2 with the SPRINTARS. 7th Scientific Conference of the International Global Atmospheric Chemistry Project (IGAC), Crete, Greece, 19-25 September.

- Takemura, T., 2002: Simulation of global aerosol transport-radiative processes based on atmospheric general circulation model. EarthCARE Workshop, Tokyo, Japan, 17-18 July.
- Takemura, T., and I. Uno, 2002: Simulation during APEX-E1 and APEX-E2/ACE-Asia by regional and global aerosol models. 5th APEX International Workshop, Miyazaki, Japan, 3-5 July.
- Higurashi, A., and T. Nakajima: Aerosol type classification with SeaWiFS four-channel radiance data. AMS 11th conference on atmospheric radiation, Ogden Eccles Conference Center, Ogden, Utah, 3-7 June 2002 (Abstract, p228)
- Higurashi A., and T. Nakajima: Aerosol type classification with SeaWiFS four channel radiance data in the APEX E2 / ACE-Asia. The 5th APEX International Workshop, World convention center summit, Phoenix SEAGAIA Resort, Miyazaki, 3-5 July, 2002.
- 日暮明子：気候変動とエアロゾル研究、日本気象学会 2002年春季大会、大宮、2002年 5 月；（2002年春季大会講演予稿集、25）
- S. Hatakeyama: Patterns of long-range transport of atmospheric pollutants from East Asia , Int.Workshop Environ.Probl.East Asia (Kyoto) (2002)
- S. Hatakeyama: Transport of Air Pollutants from East Asia --- Results of Aircraft Observations, 9th National Meeting of Atmospheric Environment (Urumqi, China) (2002)
- H. Tanimoto, S. Hatakeyama, A. Takami, and K. Kita: Horizontal and Vertical Distributions of SO₂ Observed During the PEACE Missions, AGU 2002 Fall Meeting (San Francisco, USA) (2002)
- Okamoto, H., T. Nishizawa, S. Sato, A. Kamei, H. Kuroiwa, H. Kumagai, N. Sugimoto , I. Matsui, A. Shimizu.T. Nakajima, Study of clouds and aerosols by shipborne 95GHz radar and lidar system during R-V Mirai cruises, 宮崎、2002.7
- Okamoto, T. Nishizawa, S. Sato, A. Kamei, H. Kuroiwa, H. Kumagai, N. Sugimoto , I. Matsui, A. Shimizu.T. Nakajima, Study of clouds by shipborne 95GHz radar and lidar system during Mirai MR01-K02 cruise, EarthCARE wrkshop jointly held with Second international workshop on space borne cloud profiling radar/lidar, 東京、2002.7
- Okamoto, H., A. Kamei, H. Kuroiwa, H. Kumagai, N. Sugimoto , I. Matsui, A. Shimizu.T. Nakajima, Study of clouds by shipborne 95GHz radar and lidar system during Mirai cruises, 11th conference on cloud physics, ユタ、2002.6
- Okamoto, H. Cloud studies from ground-based and shipborne radar-lidar systems, CloudSAT science team meeting, モンテレイ、2002.5
- H. Tsuruta, S. Sudo, S. Yonemura, T. Maeda, N. Kaneyasu, M. Hayashi, Y. Shirasuna, K. Hirano, K. Sera, S. Futatsugawa, K. Nojima, I. Sano, Y. Mukai (2002): Measurements of atmospheric trace gases, and characterization of atmospheric Aerosols in APEX E1 and E2, Awaji Workshop, 2-4 July 2002 (in CD-R)
- 鶴田治雄・須藤重人・米村正一郎・川島茂人・白砂裕一郎・平野耕一郎・兼保直樹・中島映至 (2002): APEX-E1 (2000 年 12 月)における地上および洋上観測: (1) 奄美大島でのガスおよびエアロゾルの測定、第 12 回大気化学討論会講演予稿集、2002 年 6 月
- 須藤重人・米村正一郎・鶴田治雄・川島茂人・野島邦一・佐野 到・向井苑生・中島映至(2002): APEX-E1 (2000 年 12 月)における地上および洋上観測 (2) 鹿児島—那覇間のフェリーによる洋上大気中の微量ガス成分の測定、第 12 回大気化学討論会講演

予稿集、2002 年 6 月

- Okamoto, H., A., Kamei, H. Kuroiwa, H. Kumagai, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, T. Nakajima, Studies of clouds by shipborne 95GHz radar and lidar system during the Mirai cruises, 11th conference on the cloud physics, May, 2002
- Okamoto, H., July 2002. Study of clouds by shipborne radar and lidar measurements during R-V Mirai MR-01-K02 cruise, EarthCARE workshop jointly held with Second international workshop on space borne cloud profiling radar/lidar
- Okamoto, H., H. Kumagai, N. Sugimoto, T. Nakajima, Dec. 2002, Radar/lidar activities towards EarthCARE mission : ARM, Mirai, and APEX E3, EarthCARE workshop, ESA-ESTEC, Netherland
- Okamoto, H., T. Nisizawa, S. Sato, H. Kumagai, A. Kamei, H. Kuroiwa, N. Sugimoto, A. Shimizu, I. Matsui, T. Nakajima Study of clouds and aerosols by shipborne 95GHz radar and lidar system during Mirai cruises, The Fifth APEX International Workshop, 2002.7.
- Okamoto, H., H. Kumagai, N. Sugimoto and T. Nakajima, Clouds studies from ground-based and shipborne radar-lidar systems, CloudSAT science team meeting, 2002.5., California, US
- Yumiro SUGA , Satoshi HOSHI, Toshiaki TAKANO, Shin SHIMAKURA, Hiroshi KUMAGAI, Tamio TAKAMURA , Teruyuki NAKAJIMA, 2001: Design and Development of an FM-CW Radar at 94GHz For Observation of Cloud Particles, 2001 Asia-Pacific Radio Science Conference (Tokyo), PF-28 (p.333)
- T. Takamura, S. Kaneta, I. Okada, N. Takeuchi, G-Y. Shi, and T. Nakajima, 2001: SKYNET validation network and its activities, Mar. 22-23, CERES International Symposium, Chiba, Japan
- Makoto Kuji, Itaru Okada, Akihiro Uchiyama, and Tamio Takamura, 2001: Retrieval of precipitable water in a continental scale using split window data, Mar. 22-23, CERES International Symposium Chiba, Japan.
- Itaru Okada, Tamio Takamura, Kazuaki Kawamoto, Toshiro Inoue, Yukari N. Takayabu, Tokio Kikuchi, 2001: Cloud cover and optical thickness from GMS-5 image data, The international workshop on GAME-AAN/Radiation, Mar. 7-9, Phuket, Thailand.
- Itaru Okada, Tamio Takamura, Yukari N. Takayabu, Teruyuki Nakajima, 2001: Estimate of downward solar flux from GMS-5 clouds, The international workshop on GAME-AAN/Radiation, Mar. 7-9, Phuket, Thailand.
- Tamio Takamura and ground observation teams, 2001: Surface observation group activities: Radiative effect of cloud and aerosol observed in the APEX E-1 and E2 at Amami-Oshima, Proceedings of the 4th APEX International Workshop, p.126-133. The APEX and RIHN Workshop, Sept. 26-28, 2001, Kyoto Tokyu Hotel, Kyoto. , Proceedings of the 4th APEX International Workshop, p.90- 95. The APEX and RIHN Workshop, Sept. 26-28, 2001, Kyoto Tokyu Hotel, Kyoto.
- T. Takamura, I. Okada, N. Takeuchi, G-Y. Shi, T. Nakajima, 2001: Estimation of surface solar radiation from satellite data and its validation using SKYNET data, P2-37, p536-541, Proceedings of the Fifth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Oct. 3-5, 2001, Aichi Trade Center, Nagoya, Japan.
- D. Kim, B.J. Sohn, T. Nakajima, I Okada, T. Takamura, 2001: Simulation of surface solar

- radiative flux with GMS-5 and SKYNET data, P3-33, p768-771, , Proceedings of the Fifth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Oct. 3-5,2001, Aichi Trade Center, Nagoya, Japan.
- N.Takeuchi, H. Kuze, T. Takamura, M. Yabuki, M. Ohori, N. Lagrosas and S. Fukagawa, 2001: Derivation of S1 parameter at Asian dust (2001 April), 36-41, Proceedings of Nagasaki Workshop on Aerosol-Cloud Radiation Interaction and Asian Lidar Network, 27-29 Nov. 2001, Nagasaki.
- T. Endoh, T. Nakajima, M. Yamano, T. Takamura, S. Ohta, 2001: Shipborne Measurements with skyradiometer, 46-54, , Proceedings of Nagasaki Workshop on Aerosol-Cloud Radiation Interaction and Asian Lidar Network, 27-29 Nov. 2001, Nagasaki.
- T. Takamura, I. Okada, T. Nakajima, G-Y Shi, J. Zhou, 2001: SKYNET aerosol/radiation observation network in the East Asia, 55-61, , Proceedings of Nagasaki Workshop on Aerosol-Cloud Radiation Interaction and Asian Lidar Network, 27-29 Nov. 2001, Nagasaki.
- Nakajima, T. Y., 2001: Report from APEX satellite remote sensing group, 3rd APEX workshop, (Sapporo, Japan)
- Nakajima, T.Y., H.Masunaga, Y.Liu, A.Higurashi. T.Takamura, T.Nakajima, 2001: Interim Results from APEX Satellite Remote Sensing Group, 4th APEX workshop (Kyoto, Japan)
- 中島孝、Yi Liu,日暮明子,中島映至,内山明博, 2001: MODISが観測したAPEX-E1期間中の雲・エアロゾル, 日本気象学会春季大会 (於東京大学)
- 中島孝、Yi Liu,日暮明子,増永浩彦,中島映至,高村民雄,内山明博, 2001:ACE-Asia期間中の衛星による雲・エアロゾル観測 , 日本気象学会秋季大会 (於岐阜県民文化ホール)
- 竹村俊彦, 中島映至: 土壌性エアロゾルの複素屈折率, 日本気象学会2001年秋季大会, 岐阜県民会館文化ホール未来会館, 2001年10月10-12日.
- 竹村俊彦, 中島映至, 野沢徹, 青木一真: エアロゾル輸送モデルを用いた東アジアにおける将来のエアロゾル分布予測実験, 日本気象学会2001年春季大会, 東京大学本郷キャンパス, 2001年5月8-10日.
- Higurashi, A. and T. Nakajima: Aerosol optical properties in the East Asia during the APEX-E1 and -E2 derived from SeaWiFS four-channel data. The 4th APEX International Workshop, Kyoto, Japan, September 26-28, 2001.
- 日暮明子・中島映至: SeaWiFS を用いた APEX 観測域におけるエアロゾル型分類、日本気象学会 2001年秋季大会、岐阜、2001年 10月; (2001年秋季大会講演予稿集、175)
- N. Takeuchi, T. Nakajima, T. Takamura, W. Widada: Cloud behavior in rainy season in Thailand observed by a lidar, Proc. 5th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, P3-08, October 3-5, 2001 Nagoya, Aichi Trade Center
- Okamoto, H., S. Iwasaki, H. Kumagai, A. Kamei,M. Yasui, H. Kuroiwa, H. Horie, N. Sugimoto , I. Matsui, A. Shimizu、Activities of the active sensor group : 95GHz cloud radar and lidar for the study of cloud microphysics、the Fourth APEX International Workshop、京都、2001.9
- Okamoto, H. Report from the active sensor group, the thrid APEX international workshop, 札幌、2001. 2
- Okamoto, H., STUDIES FOR CLOUD MICROPHYSICS AND ITS RADARIVE FORCING BY 95GHZ CLOUD PROFILING RADAR AND LIDAR, IAMAS, インスブルック,2001.7

- Okamoto, H. Cloud studies from radar and lidar, Munchen university colloquium, ミュンヘン、2001.7
- Okamoto, H., Synergy remote sensing of clouds, ローマ大気物理研究所 colloquium, ローマ、2001.7
- T.Takamura, I. Okada, 2000: Surface solar radiation estimated from GMS-5 and its validation, Japan-China Workshop on Aerosol-Cloud Radiation Interaction over Desert Area, Aug. 2-4, 2000, at Silu Hotel, DunHuang, China
- 中島孝、中島映至、真野裕三、吉森久、2000:非球形粒子の厳密解について（その2）、日本気象学会春季大会（つくば国際会議場）
- Takemura, T., H. Okamoto, A. Numaguti, K. Suzuki, A. Higurashi, and T. Nakajima, 2000: Global three-dimensional simulation and radiative forcing of various aerosol species with GCM. SPIE's 2nd International Asia-Pacific Symposium on Remote Sensing of the Atmosphere, Environment, and Space, Sendai, Japan, 9-12 October.
- Takemura, T., T. Nakajima, H. Okamoto, A. Numaguti, and A. Higurashi, 2000: Three-dimensional simulation and radiative forcing of various tropospheric aerosols with atmospheric general circulation model. Conference on Visibility, Aerosols and Atmospheric Optics, Wien, Austria, 11-15 September.
- Takemura, T., H. Okamoto, A. Numaguti, K. Suzuki, A. Higurashi, and T. Nakajima, 2000: Global three-dimensional distribution and radiative forcing of various aerosol species with GCM. 2000 Western Pacific Geophysics Meeting (WPGM), Tokyo, Japan, 27-30 June.
- 竹村俊彦、中島映至、岡本創、沼口敦: 全球3次元エアロゾルモデル —(3) 全球分布と放射強制力、日本気象学会2000年春季大会、つくば国際会議場、2000年5月24-26日。
- Takemura, T., T. Nakajima, A. Higurashi, and T. Usui, 2000: Biomass burning aerosol signature from space and GCM. The Joint Workshop for the Indonesian Forest Fire and its Environmental Impacts, Tokyo, Japan, 7 March.
- Takemura, T., H. Okamoto, A. Numaguti, A. Higurashi, and T. Nakajima, 2000: Global three-dimensional simulation and radiative forcing of various aerosol species. The First International Workshop on Spaceborne Cloud Profiling Radar, Tsukuba, Japan, 24-26 January.
- 日暮明子・臼井崇行・中島映至: 衛星リモートセンシングによるエアロゾル研究、日本気象学会 2000 年春季大会、つくば、2000 年 5 月; (2000 年春季大会講演予稿集、61)
- N. Takeuchi, H. Kuze, T. Takamura, T. Nakajima, Somchai Baimoung; Continuous Cloud Observation in Tropics by Micro Pulse Lidar, 20th ILRC, Vichy, France, July 9-14, 2000
- 秋元竜、陳衛標、鈴木義英、中村重記、久世宏明、竹内延夫、尾松孝茂、曾根明弘、菅博文、受動Qスイッチを利用した高繰り返しライダー用LD励起光源の開発、第47回応用物理学関係連合講演会(2000年春) 29pM12、3月29日 (東京)
- 鈴木義英、陳衛標、秋元竜、曾根明弘、菅博文、久世宏明、竹内延夫、耐環境型可搬型全自動ライダー(PAL)の試作、第47回応用物理学関係連合講演会(2000年春) 29pM16、3月29日 (東京)
- S. Dewang, 竹内 延夫、W. Widada, 久世宏明、S. Baimoung, MPLとスカイラジオメータを使用した雲の光学的性質の導出、2000年春 気象学会

- Okamoto, H., S. Iwasaki and H. Horie, Algorithm studies for radar and lidar systems, The first international workshop on spaceborne cloud profiling radar, つくば、2000. 1
- Okamoto, H., M. Yasui, H. Horie, H. Kuroiwa, H. Kumagai, S. Iwasaki, H. Horie, Observation of clouds by 95GHz radar and lidar systems : radius versus fall velocity, IRS2000, サンクトペテルブルグ, 2000, 7
- Okamoto, H. S. Iwasaki, M. H. Horie, H. Kuroiwa, H. Kumagai, H. Horie, Synergy use of 95GHz radar and lidar for clouds and aerosol-cloud interaction studies, 2000 Western Pacific Geophysics Meeting (WPGM), 代々木、2000. 6
- Okamoto, H., S. Iwasaki, M. Yasui, H. Kuroiwa, H. Horie, H. Kumagai, 95GHz cloud radar and lidar systems : preliminary results of cloud microphysics, SPIE, 仙台, 2000. 10
- 中島孝、中島映至、真野裕三、吉森久、1999:非球形粒子の厳密解の応用について、日本気象学会秋季大会（於アクロス福岡）
- Higurashi, A., T. Nakajima, T. Takemura, H. Okamoto, and A. Numaguti: Global aerosol remote sensing with NOAA/AVHRR. The '99 Kyoto Aerosol-Cloud Workshop (The CCSR COE Symposium / 3rd Aerosol-Cloud Remote Sensing Workshop), December 1-3, 1999, Kyoto, Japan.
- 竹内延夫、中島映至、高村民雄、朝隈康司：スコタイにおけるライダー・放射観測と衛星データ利用の検討、GAME国内集会、(京都) 12/8-9
- 矢吹正教、内藤季和、久世宏明、竹内延夫：化学組成から導出される光学特性の関東地方における年変動、日本気象学会1999年春季大会講演予稿集, pp. 295, 1999.
- T. Takamura, T. Nakajima, H. Kumagai, Y. Sasano and Y. Muraji, 1999: Feasibility study of 3-dimensional cloud and aerosol structure from space-borne lidar/CPR, Proceedings of ALPS99, WKO-O-12, 1/18-1/22, 1999, Meribel, France
- Kaneta, S., T. Takamura, Y. Honda, Y. Iwasaka, G.Y Shi, 1999: Atmospheric Aerosol Characteristics in the East Asia, SP3-4(7/29), First Asia Aerosol Conference, Jul 27-29, Nagoya, Japan.
- Tamio TAKAMURA, 1999: An Asian network for aerosol and radiation study, Proceeding of Workshop on Climatological analysis of cloud-aerosol radiation effect in the East Asia, pp.39-50, Aug. 19-20, 1999, Hokkaido University, Sapporo.

②ポスター発表 (国内23件、海外14件)

- K. Arao, J. Ishizaka, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, I. Mori, M. Nishikawa, K. Aoki, A. Uchiyama, A. Yamazaki, H. Togawa, and J. Asano. Yellow sand dust events over Nagasaki in Japan in spring 2003, 16th International Conference on Nucleation & Atmospheric Aerosols, Kyoto, Japan (Kyoto University), July 27, 2004
- Tanimoto, N., Ohara, T., Uno, I., Sugata, S. and Uematsu M.: A Three Dimensional Model Analysis of Carbonaceous Aerosol Dynamics in East Asia During Spring 2001, Nucleation and Atmospheric Aerosols 2004: 16th International Conference, Kyoto, 2004
- A. Uchiyama, A. Yamazaki, H. Togawa, and J. Asano, Continuous measurement of aerosol

- characteristics by ADEC sky-radiometer network, IRS 2004, Busan, Korea, August 23-28, 2004.
- Higurashi, A., T. Saeki, and T. Nakajima: Long-term analysis of the aerosol optical properties on global scale from NOAA/AVHRR. International Radiation Symposium (IRS2004), August 23-28, 2004, BEXCO, Busan, Korea (IRS2004 Current problems in atmospheric radiation, Abstracts, F46, p93).
- Higurashi, A., and T. Nakajima: Detection of aerosol types from space-borne radiometer over the ocean. International Radiation Symposium (IRS2004), August 23-28, 2004, BEXCO, Busan, Korea (IRS2004 Current problems in atmospheric radiation, Abstracts, F47, p93-94).
- S. Hatakeyama, A. Takami, W. Wang, D. Tang: Aerial Observations of Atmospheric Pollutants in China, 8th International Global Atmospheric Chemistry Conference (Christchurch, New Zealand) (2004)
- Suzuki, K. T. Nakajima, T. Iguchi, G. Asanuma, and T. Y. Nakajima, 2004 : Numerical study of the aerosol effect on water cloud optical properties with nonhydrostatic spectral microphysics cloud model. International Radiation Symposium, Busan, Korea, 23-28 August.
- Hoeller, R., Remote sensing of aerosols from GLI using near-UV channels, Proc. of the 21th Annual meeting of the Japanese Association of Aerosol Science and Technology, Sapporo, Japan, 83-84.
- Hoeller, R., A. Higurashi, and T. Nakajima, 2004. The GLI 380-nm channel - Application for satellite remote sensing of tropospheric aerosol, Proc. EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Prague.
- Hoeller, R., N. Kikuchi, A. Higurashi, T. Nakajima, T. Y. Nakajima, and T. Igarashi, 2004. Remote sensing of the atmospheric particle environment from ADEOS-2/GLI, Proceedings of the 2004 IEICE General Conference, 47-48, Tokyo, Japan.
- 向井真木子: A long-term simulation of the Asian dust events with use of a General Circulation Model(posters), IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics), Sapporo, Japan, 2003/06/30-07/05
- Nakajima, T. Y., 2003 : Earth Views, the Global Imager, 6th APEX-RIHN workshop,(Hyogo, Japan)
- 中島孝、村上浩、堀雅裕、山本浩万, 2003:みどりII(ADEOS-II)搭載GLIの初期 データ, 日本気象学会春季大会 (於エポカル筑波)
- A. Uchiyama, A. Yamazaki, H. Togawa, and J. Asano, Characteristics of Aeolian dust observed by sky-radiometer, IUGG 2003, Sapporo, Japan June 30-July 11, 2003
- Higurashi, A, T. Nakajima, S. Ohta, T. Takamura, and B. N. Holben: Aerosol characteristics over the East China Sea from satellite four-channel radiances. XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG 2003), Sapporo, Japan, June 30 - July 11, 2003 (IUGG 2003 Abstract, A370)
- Higurashi A.: Aerosol type classification with MODIS four channel radiance data during the APEX-E3. The 6th APEX International Workshop, Awaji Yumebutai International Conference Center, Awaji Island, Hyogo, 25-27 June, 2003.
- Suzuki, K. and T. Nakajima, 2003 : Numerical modeling of cloud microphysics by series expansion method. IUGG XXIII General Assembly, Sapporo, 30 June-11 July.

- Hoeller, R., A. Higurashi, T. Nakajima, and T. Y. Nakajima, 2003. Retrieval of aerosol optical thickness and single-scattering albedo over land from GLI, Proceedings of the 35th Conference of the Remote Sensing Society of Japan, 7-10, November 26-27, Nagaoka, Japan.
- Hoeller, R., A. Higurashi, T. Nakajima, T. Y. Nakajima, 2003. A method for satellite remote sensing of aerosols over land surfaces using GLI's UV-Channel. Proceedings of the IUGG2003 conference, Abstract MI02/02A/B17-009, Sapporo, Japan.
- Okamoto, H., T. Nishizawa, H. Kuroiwa, A. Kamei, H. Kumagai, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, Y. Fujiyoshi, Radar/lidar algorithm with LDR to infer cloudmicrophysics : in the Arctic Ocean, Asian-Pacific Radiation Symposium(ARPS), 西安、2003.8
- Okamoto, H., From the experience of Research Vessel Mirai with cloud radar and lidar system for the studies of clouds and aerosols in Pacific Ocean, Asian Brown Cloud (ABC) workshop, 駒場、2003.11
- Maeda, T., H. Tsuruta, S. Yonemura, R. Imasu , MODEL ANALYZED ORIGINES OF ATMOSPHERIC SULFUR OXIDES OBSERVED IN AMAMI-OHSHIMA DURING APEX-E1/E2 and E3 CAMPAIGNS, IUGG 2003, Sapporo, Japan, 1 July 2003.
- Maeda T., R. Imasu , H. Tsuruta, S. Yonemura: MODEL ANALYSES OF DISTRIBUTION AND TRANSPORT PATHS OF ATMOSPHERIC SULFUR OXIDES IN EAST ASIA IN DECEMBER 2000 AND APRIL 2001, ASAAQ 2003, Tsukuba, Japan, 13 March 2003.
- Takemura, T., T. Nakajima, 2002: Global distributions of aerosol optical properties simulated with the SPRINTARS. AMS 11th Conference on Atmospheric Radiation, Ogden, USA, 3-7 June.
- 竹村俊彦: APEX-E2/ACE-Asia期間中のエアロゾル輸送・放射モデルを用いたシミュレーション, 日本気象学会2002年春季大会, 大宮ソニックシティ, 2002年5月22日-24日.
- Takemura, T., T. Nakajima, H. Okamoto, and I. Uno, 2001: Modeling study of aerosol global distribution and radiative forcing. AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 10-14 December.
- Higurashi, A., and T. Nakajima: Aerosol type classification with SeaWiFS during APEX-E2 / ACE-Asia. The first ACE-Asia Data Workshop, California Institute for Technology, California, USA, October 29 - November 1, 2001.
- Higurashi, A., and T. Nakajima: Statistics of aerosol optical properties derived from satellite remote sensings. IAMAS 2001, July 10-18, 2001, Congress Innsbruck, Austria; (IAMAS 2001 Abstracts, 44)
- 前田高尚, 今須良一, APEX E1/E2期間の東アジア地域における大気中硫黄酸化物の分布と輸送経路, 日本気象学会2001年秋季大会, 岐阜, 2001年10月10日
- 前田高尚, 今須良一, 鶴田治雄, 米村正一郎, APEX E1/E2期間の東アジア地域における大気中硫黄酸化物の分布と輸送経路(2), 日本気象学会2001年秋季大会, 札幌, 2001年10月9日
- Takemura, T., and T. Nakajima, 2000: A global modeling of aerosol radiative characteristics. Seventh International Conference on Atmosphere Sciences and Applications to Air Quality (ASAAQ) and Exhibition, Taipei, Taiwan, 31 October - 2 November.
- Takemura, T., H. Okamoto, A. Numaguti, A. Higurashi, and T. Nakajima, 2000: Global three-dimensional simulation and radiative forcing of various aerosol species. International Radiation Symposium (IRS), St. Petersburg, Russia, 24-29 July.

竹村俊彦, 岡本創, 沼口敦, 日暮明子, 中島映至: 全球3次元エアロゾルモデル —(2) on-lineモデルの結果検証, 日本気象学会2000年春季大会, つくば国際会議場, 2000年5月24-26日.

Higurashi, A., T. Nakajima, and T. Usui: Optical characterization of aerosols from multi-channel radiances derived from AVHRR and ocean color sensors. 2000 International Radiation Symposium, July 24-29, 2000, Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia; (Abstracts IRS 2000: Current Problems in Atmospheric Radiation, 19)

Takemura, T., H. Okamoto, A. Numaguti, and T. Nakajima, 1999: An aerosol modeling with CCSR/NIES GCM. The '99 Kyoto Aerosol-Cloud Workshop (The CCSR COE Symposium / 3rd Aerosol-Cloud Remote Sensing Workshop), Kyoto, Japan, 1-3 December.

竹村俊彦, 岡本創, 沼口敦, 中島映至: 全球3次元エアロゾルモデル —(1) on-lineモデルの構築, 日本気象学会1999年秋季大会, アクロス福岡, 1999年11月24-26日.

竹村俊彦, 岡本創, 丸山祥宏, 沼口敦, 中島映至: 様々な起源を持つエアロゾルのモデリングと放射強制力, 日本気象学会1999年春季大会, 気象庁, 1999年4月26-28日.

③ プレス発表

なし

(3) 特許出願 (国内 1 件、海外 0 件)

“発明者、発明の名称、出願番号、出願日等。但し、出願予定の特許は含めない。”

① 国内

“発明者、発明の名称、出願人、出願日を記述”

“発明者：石坂 隆

発明名称：低過飽和雲粒核測定方法およびその装置

出願人：科学技術振興事業団 沖村 憲樹

出願日：平成14年3月15日”

② 海外

(4) 新聞報道等

① 新聞報道

中島映至 2003: 黄砂関連記事

- ・2003年3月8日 朝日新聞朝刊「黄砂急増、発生源が東進していた：米山正寛」
- ・毎日新聞 「温暖化で・・・増える黄砂。：永山悦子」
- ・産経新聞 「黄砂増加に温暖化の影響、発生場所がゴビ砂漠に。：長内洋介」

2004年4月9日 朝日新聞、NHK ニュース等

九州大学応用力学研究所、東京大学気候システム研究センター共同研究「大規模黄砂現象の再現」について

2001年4月19日 東京新聞夕刊 「地球の悲鳴：温暖化、オゾン層破壊加速、北米まで黄砂」で温暖化との関連でコメント。

2001年9月1日 朝日新聞朝刊 「私の視点」投稿記事：環境監視 アジアの空見守る「目」を。

1999年 朝日新聞夕刊 「エアロゾル 気温低下にどう影響」

高村民雄

2003年6月17日 日本経済新聞 「プリード 雲量正確に自動計測、千葉大と装置開発 空360度撮影し分析」

鷹野敏明

2003年10月13日 日本経済新聞 「雲の立体構造、低コスト観測」

竹村俊彦

2002年4月16日 読売新聞朝刊（全国）

2002年4月9日 産経新聞朝刊（全国） 「黄砂北米まで 大気汚染物質も同時に」

2002年4月9日 毎日新聞朝刊（全国） 「大気汚染、黄砂で予測」

2002年4月9日 朝日新聞朝刊（全国） 「黄砂、2割が米へ到達 視界悪化、他物質も影響」

2001年8月1日 読売新聞夕刊（大阪本社版） 「50年後日本の空かすむ？ 汚染物質倍増の試算」

畠山史郎

2004年9月6日 日本経済新聞朝刊 「中国の東シナ海沿岸 大気汚染が悪化」

日暮明子

共同通信社へSeaWiFS 黄砂画像提供（北海道、室蘭日報、秋田さきがけ、山形、岩手日報、北日本、上毛、東奥日報、茨城、千葉日報、東京、南日本、山陽新聞等で2001年4月14日付朝刊に掲載）

② 受賞

鵜野伊津志

2003年11月5日 第13回日本経済新聞地球環境技術賞 受賞

遠藤辰雄

2003年7月23日 平成14年度地球環境論文賞（社団法人 土木学会地球環境委員会）

竹村俊彦

2004年8月 Young Scientist Award (International Radiation Commission)

2002年10月 山本・正野論文賞 (日本気象学会)

日暮明子

2000年10月 日本気象学会山本・正野論文賞受賞

③ その他

中島映至

2002年4月15日 テレビ朝日ニュースステーション 「黄砂の当たり年についてのコメント」

2002年4月11日 NHK BS23 ニュースの解説 「拡大する黄砂現象について」

2001年10月6日 BS ケーブル放送 「政策対談 明日への架け橋」(#79 京都議定書)出演

2001年 数研出版 GMS 衛星から得られたピナツボエアロゾルの光学的厚さ分布図の高校教科書への提供

岡本創

気象の事典 (新田・伊藤・木村・住・安成編), 朝倉書店 第VI編 現代気象問題46
宇宙からの地球観測 46.3 レーダ (岡本 創) (in press)

気象の事典 (新田・伊藤・木村・住・安成編), 朝倉書店 第VI編 現代気象問題46
宇宙からの地球観測 46.1 可視 (岡本 創) (in press)

鷹野敏明

2004年9月11日 NHK教育テレビ「サイエンスゼロ」 “高感度気象レーダを開発せよ”

高村民雄

高村民雄・岡田格, 2000: “衛星による地球大気系の放射収支推定”, 月刊海洋, 32(2000), pp.320-326.

高村民雄, 中西裕治, 小川利紘, 2002: AMSS の改修と使用可能性について (Optical characterization of the improved AMSS (Airborne Multi-spectral Scanner), EORC Bulletin Technical Report N.11, March 2002, 1-53.

竹村俊彦

2002年4月11日 TBSニュースの森 (関東)

2002年4月9日 NHKニュース10 (全国)

日暮明子

2003年3月 環境儀 (NIES Research Booklet) No. 8 April 2003, へ黄砂画像の提供

2001年4月 フジテレビ・スーパーニュースへ画像提供

2001年4月 TBS ニュースの森へ SeaWiFS 黄砂画像提供
2001年 秀文堂「生物図説」への黄砂画像の提供

(5) その他特記事項

スカイラジオメーターの改良と新型については順次、PREDE 株式会社にて製品化に反映している。

8. 結び

全行程を終えた本研究を総観してみると、次のような総括ができる。

- ・研究目標の設定は適切であった。ただし、得られたエアロゾルの放射強制力の大きさや、アジア域における降雨量の変化の評価は適切にできた。例えば、全球平均の直接放射強制力の値は、当初提案時には疑問であった -0.5 W/m^2 よりも小さいこと、間接効果は -1 W/m^2 より若干小さい事が明らかになり、さらに大きな不確定性がなぜ起きたかについてそのメカニズムを理解できた。問題が残るとすると、これらの値を、モデリング、衛星観測、地上観測のすべての手法で十分に吟味できなかったことである。すなわち、それぞれの観測手法からの成果に関する相互チェックをする時間が取れなかった。しかし、これについても今後の別予算による研究によって追求できる基盤が形成できた。

- ・研究の戦略は適切であった。研究戦略は、地上観測において放射と化学観測を併用すること、衛星観測によってエアロゾルと雲の観測を同時に行うこと、アクティブセンシングと言う新しいグループを作ってこの時期に新しく登場してきた雲レーダーをライダーに組み合わせたユニークな観測システムを作ること、これらを観測船「みらい」に搭載すること、航空機によって実際に大気中で起こっているエアロゾルと雲の相互作用について検証データを得ること、気候モデルにエアロゾルプロセスを組み込んでエアロゾルの気候影響をアジアや全球と言った広域で理解することが適切にできた。これらのアイデアは、SKYNETと言う複合観測・解析システムのアイデアに発展し、プロジェクト終了後も維持できる見込みが立ったことが大きな財産であった。このSKYNETでは地上観測や衛星観測からのデータをなるべく自動的に収集・解析するシステムであり、奄美大島、中国・合肥、タイ・シーサムロンにスーパー観測サイトを設営することができた。データは毎日千葉大学にあるSKYNETセンターに収集されている。また、解析をその問題に最も詳しい研究者が解析するという分散型解析ノードのアイデアも実現されている。

- ・交付された予算は、戦略的基礎研究の管理システムの特徴を十分に活かして、非常に有効に活用できたと考える。これは、従来の国からの交付金に見られる硬直化した費目管理や予算積みあげシステムと異なり、研究の進行状況や変化する外的要因に適切に対応しながら、研究代表者の即断で支払いができるという画期的システムの恩恵に浴することが大きかった。特に黄砂現象が起こる3月、4月に他の研究グループが予算を執行できない状況で、十分な観測態勢が取れたことは日本発にユニークな成果を生み出すことができた。

- ・この研究において主に開発されたソフトウェアには、SPRINTARSエアロゾル気候モデル、NHM+HUCMビン型非静力学雲モデル、Skyrad.pack version3, 4天空輝度分布解析プログラム、Rstar汎用放射輝度計算ソフトウェアがあり、その結果は多くの研究者によって使用されている。また、プログラムそのものも公開準備中である。従って、今後、同様の観測によって得られたデータを解析するツールも重要な資産としてプロジェクト終了後に残される。

- ・研究業績の項で総括したように学会誌への投稿論文を始め多くの研究成果を発表する

ことができた。論文引用回数も研究代表者だけでも2002年の1540回から2004年9月の2379回と飛躍的に増えており、いかにAPEX発信の研究が世界中の多くの研究者に利用されてきたかが伺える。学生、若手研究者もこの間に大きく成長しており、APEXコミュニティとでも呼べるような新しいコミュニティが形成されつつある。このコミュニティでは放射研究、衛星リモートセンシング研究、大気化学研究、雲物理学研究が総合的に議論される場であり、そのことによって、昨今問題になっている地球温暖化研究における人為起源エアロゾルの気候影響問題を多面的に研究できるようになった。研究代表者のグループだけでもこの研究に関連して3名が博士号、7名が修士号、2名が大学の助手ポストを得ている。

述べてきたように、本研究は人為起源エアロゾルの気候影響をアジア域でモニターするための重要な手段を生み出した。これらを継続してセミリアルタイムのモニタリングシステムとして実用化するプロジェクト提案は、発展型研究としてJSTに採用されなかったのは残念である。しかし一方で、国連環境計画（UNEP）のABCプロジェクト

（Atmospheric Brown Cloudプロジェクト）など、アジア域の大気汚染が引き起こす気候、環境影響を研究するプロジェクトがいくつか立ち上がりつつある現状を見ると、このようなモニタリングシステムの確立が急務であることも事実である。従って、今後ともあらゆる機会を捉えて、このような実用的なモニタリングシステムを実用化する努力を続けて行きたいと考えている。