

B-4 能動型と受動型リモートセンサーの複合利用による大気汚染エアロゾルと雲の気候影響研究

(3) 衛星データとモデルによる雲・エアロゾルの研究

2) 可視・赤外イメージャーによるエアロゾルの推定の研究

独立行政法人国立環境研究所

大気圏環境研究領域 大気物理研究室 日暮明子

<研究協力者>

北海道大学大学院 工学研究科 太田幸雄

東京大学 気候システム研究センター 鶴田治雄

九州大学 応用力学研究所 竹村俊彦

平成14～18年度合計予算額 19,014千円
(うち、平成18年度予算額 4,003千円)

[要旨]

エアロゾルの気候影響評価に資する、より高精度の全球エアロゾル特性把握を行う為に、衛星搭載受動型センサーによるエアロゾル特性推定アルゴリズムの開発・改良を行い、開発アルゴリズムを用いたエアロゾル解析システムの構築を行った。これにより、東アジア域のエアロゾルの光学的厚さ、オンゲストローム指数、エアロゾルタイプが準リアルタイムで得られるようになった。地上観測と衛星観測とのマッチアップを図り、解析システムにより推定されたエアロゾル特性の検証を行った。フィルターサンプリングによる化学成分分析の結果との比較において、衛星から推定されたエアロゾル種別光学的厚さの割合が化学成分分析による各成分の濃度比と非常によく整合することが示された。

更に、開発アルゴリズムを MODIS/Terra および GLI/ADEOS-II の全球データに適用し、MODIS については 2000年2月から 2005年12月まで、また GLI については 2003年2月から 10月までの、エアロゾルの光学的厚さ、オンゲストローム指数、エアロゾル種別の光学的厚さの全球分布を得た。得られたエアロゾル特性分布は、全球エアロゾル輸送モデルの結果と比較された。衛星解析は、清浄な領域での過大評価はあるものの、主要なエアロゾル層についてはモデルシミュレーションとよい一致をみた。衛星解析の過大評価は、全球平均でおよそ +0.03 で、既存研究により示されている衛星—モデル間のバイアス +0.05 に比べ、改善が示された。エアロゾル種別の光学的厚さについては、あるタイプが卓越する地域では整合するものの、多種類のタイプが混在する地域において一致しない部分も多く見られた。衛星解析における全エアロゾルの光学的厚さから種別値を求める過程、特に多種類のエアロゾルが混在した状態について、今後より詳細に検討していく必要性が示された。

[キーワード] エアロゾル、リモートセンシング、モニタリング、衛星観測、気候影響

1. はじめに

エアロゾルによる気候影響の評価精度向上は、気候変動研究において依然大きな課題の1つとなっている。気候変動における政府間パネル(IPCC)の第3次報告書¹⁾に示されているように、産業革命以降現在に至る約250年間における各種気候変動因子による放射強制力の見積もりにおいて、他の因子が数十%の精度で推定されているのに対し、種々のエアロゾルによる直接効果の不確定性はいずれも2〜3倍と著しく高い。更に、エアロゾルの間接効果の評価に至っては、0〜 -2.0 W/m^2 と温室効果気体による放射強制力 $+2.5 \text{ W/m}^2$ を相殺しうる規模の不確定性の範囲でしか示されていない。しかも、ここで考慮されているエアロゾル間接効果は、雲凝結核の増加により雲の反射率が増加する1次間接効果のみである。

このようなエアロゾルの気候影響評価における大きな不確定性は、評価を行うモデル間で表現されるエアロゾル特性が大きく異なることに起因している。エアロゾルは物理化学特性が複雑な上、質・量ともに時空間変動が非常に大きい。エアロゾルの気候影響評価における不確定性を減ずる為には、まずはその全球特性を十分に理解することが不可欠である。

衛星観測技術の進歩により、衛星搭載受動型センサーからエアロゾルの量・粒径指標などの物理特性の推定が可能となり、従来の地上・航空機観測では困難であったエアロゾルの水平2次元空間での分布特性が得られるようになってきている^{1), 2), 3), 4), 5)}。しかしながら、エアロゾルの気候影響は種別により大きく異なるなど複雑なため、その影響評価を精度よく見積もるには未だ十分な知見が得られておらず、より詳細なエアロゾル特性の把握が必要とされている。

2. 研究目的

本研究では、人為起源エアロゾルの直接・間接効果により引き起こされる気候影響をより正確に評価する為、エアロゾル気候影響評価の基礎となるエアロゾル微物理特性の高精度データセットを構築する。そのために、エアロゾル微物理特性の広域的な水平情報が得られる衛星搭載受動型センサーのデータを活用し、より高精度なエアロゾル物理量の解析や新たな物理量の抽出を目指す。

3. 研究方法

エアロゾルの放射強制力はその種類により大きく異なるため、エアロゾルの気候影響評価を行う上で、エアロゾルタイプに関する知見は非常に重要である。エアロゾルの光学的厚さとオンゲストローム指数に加え、エアロゾル種別を行うアルゴリズム⁶⁾の開発・改良を進め、開発アルゴリズムによる東アジア域エアロゾル解析システムを構築する。これにより準リアルタイムで得られる東アジア域のエアロゾル光学特性について、スカイラジオメーター等の地上放射観測や化学成分分析の他、能動型センサーである地上ライダー観測との比較を行い、アルゴリズムを検証する。東アジア域は、エアロゾル放出量が多いだけでなく、人為起源エアロゾルの他、砂塵性エアロゾルの影響も強く、多種類のエアロゾルが複雑に混在する世界的にも非常に特異な地域であり、エアロゾル種推定は極めて難しいが、それ故に同地域で解析結果を蓄積し、地上観測との比較・検証を行うことは大きな意義がある。アジア域の複雑な大気環境において、開発アルゴリズムの妥当性を評価した後、開発・改良されたアルゴリズムを全球データに適用し、エアロゾル特性の全球分布を求める。全球解析を行うことは、本研究の最終的な目標である、エアロゾルの気候影響評

価等、気候研究に資するものである。更に、解析結果については、地上観測および全球エアロゾル輸送モデルSPRINTARS^{7),8)}との比較・検証を行う。

4. 結果・考察

(1) 東アジア域解析

エアロゾルタイプに関する知見は、エアロゾルの気候影響評価を行う上で、非常に重要であることから、エアロゾルの光学的厚さとオンゲストローム指数に加え、エアロゾル種別を行うアルゴリズムの開発・改良を進めてきた⁶⁾。東アジア域は、エアロゾル放出量が多いだけでなく、人為起源エアロゾルの他、砂塵性エアロゾルの影響も強く、多種類のエアロゾルが複雑に混在する世界的にも非常に特異な地域であり、エアロゾル種推定は極めて難しいが、それ故に同地域で解析結果を蓄積し、地上観測との比較・検証を行うことは大きな意義がある。

1) エアロゾル解析システム

東アジア域をカバーできる衛星データ受信局からデータ配信を受け、準リアルタイムでエアロゾル物理量解析が行えるシステム構築を行った。以下に解析システムの概要を記す。

- ・ 解析アルゴリズム：4波長アルゴリズム⁶⁾
- ・ プロダクト：エアロゾルの光学的厚さ、粒径指標、エアロゾル種別、疑似カラー画像
- ・ 解析範囲：北緯 10° -60°，東経 110° -170°
- ・ 衛星データ：
 - SeaWiFS HRPT (JAMSTEC 受信)
 - MODIS L1B (国内受信局)*

*NASA DAAC(2000年12月, 2001年4~5月), 東京大学生産技術研究所安岡研究室(2003年3月~11月), 東京情報大学(2004年4月~2005年6月), 東海大学宇宙情報センター(2005年7月~)

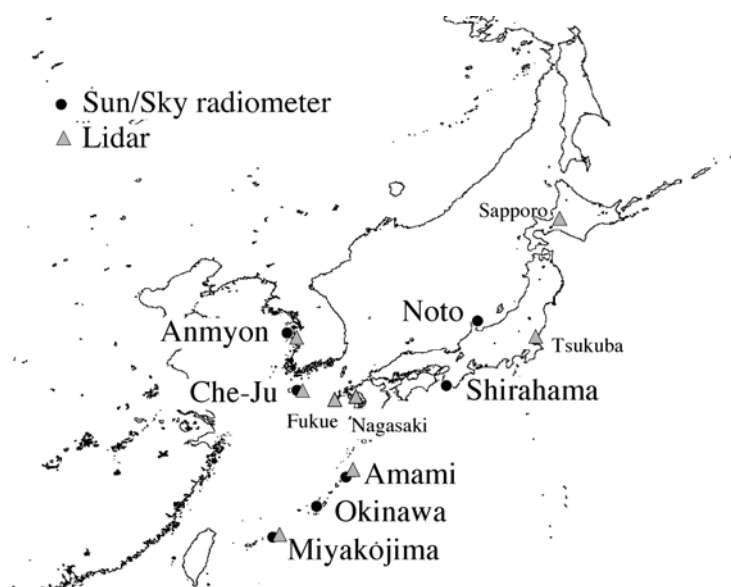


図1 地上放射観測サイト(●)とライダー観測サイト(▲)

- ・ 解析補助データ：

- 海上風速（気象庁 GPV 初期値データ）
- オゾンデータ（TOMS解析データ）

同解析システムの解析領域内には、東アジア域において常時モニタリングとして連続稼働しており、データの取得が可能なライダーサイトが多数あり(図1)、衛星解析とこれらサイトデータの複合利用が可能である。

解析の一例として、図2に SeaWiFS データによる 2001年4月13日の結果を示す。この日は、非常に発達した低気圧が樺太付近にある一方、ゴビ砂漠に中心をもつ高気圧が東へ張り出してきており、衛星画像に見られるように、西日本および北海道が黄砂に覆われている。衛星解析においても、対応領域において非常に高い光学的厚さと粒径指標の減少が見られ、粒径の大きい高濃度のエアロゾルが流入していることを示している。種別分類において、同領域は砂塵性エアロゾルが卓越することを示す“DST”タイプに分類されており、この分布はエアロゾル輸送モデルや TOMS のエアロゾルインデックスの結果とも一致している。

- April 13, 2001 -

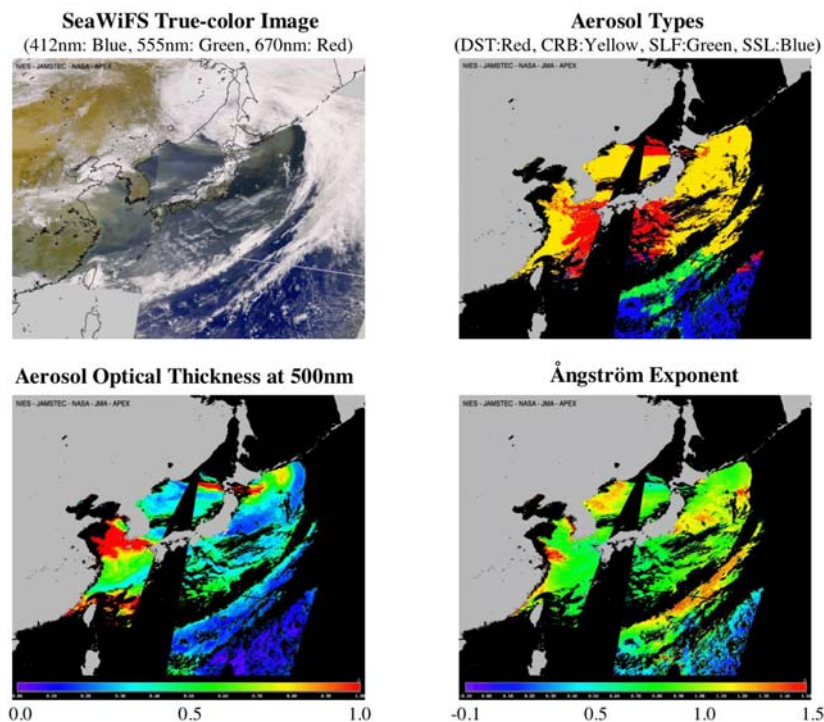


図2 2001年4月13日の SeaWiFS データから得られた疑似カラー画像(左上)、エアロゾルの光学的厚さ(左下)、粒径指標(右下)、エアロゾル種別(右上)。

地上放射観測・ライダー観測地点のうち、Anmyon, Kosan, 能登、奄美大島、沖縄、宮古島の6地点について、SeaWiFS によるエアロゾル解析結果からデータの抽出を行った。図3は各地点での光学的厚さの時系列で、各種別成分については地上観測地点から0.5度以内のピクセルデータから(1)式に従って求めた。

$$\langle \tau_{typ} \rangle = \sum_i \tau_{typ,i} / \sum_{typ} \sum_i \tau_{typ,i} \quad (1)$$

ここで typ はエアロゾル種、 i は0.5度以内で有効なピクセル数を示す。

南側3地点(奄美大島・沖縄・宮古島)と北側3地点(Anmyon, Kosan, 能登)でその特徴が大きく異なっている。北側の3地点では、全般に光学的厚さが高く、“CRB”および“DST”タイプのエアロゾルの寄与が高く、大陸からの影響を強く受けていることが分かる。一方、南側の地点は、北側地点に比べ光学的に薄いこと、4月下旬を境に大気の特徴が大きく変わるという2つの大きな特徴を持つ。4月下旬までは北側同様“CRB”および“DST”タイプのエアロゾルが支配的で、大陸からの影響が示唆されるが、それ以降は“SLF”、“SSL”タイプがをうけていると考えられる。春季に東アジア域に輸送されてくる炭素性エアロゾルは、中国大陸での工業活動と東南アジアにおけるバイオマス燃焼に起因している。南側地点で大気質が入れ替わる時期は、ベトナムでのバイオマス燃焼シーズンの終わりと一致する。事実、TOMSのエアロゾルインデックスをみると、5月19日と21日に極めて弱いシグナルが示されているものの、4月30日以降同地域で目立ったシグナルは現れていない。南側サイトにおけるこの大気質の変化は、海洋性気団の影響に加え、こうした東南アジア域のバイオマス燃焼の影響があるものと考えられる。

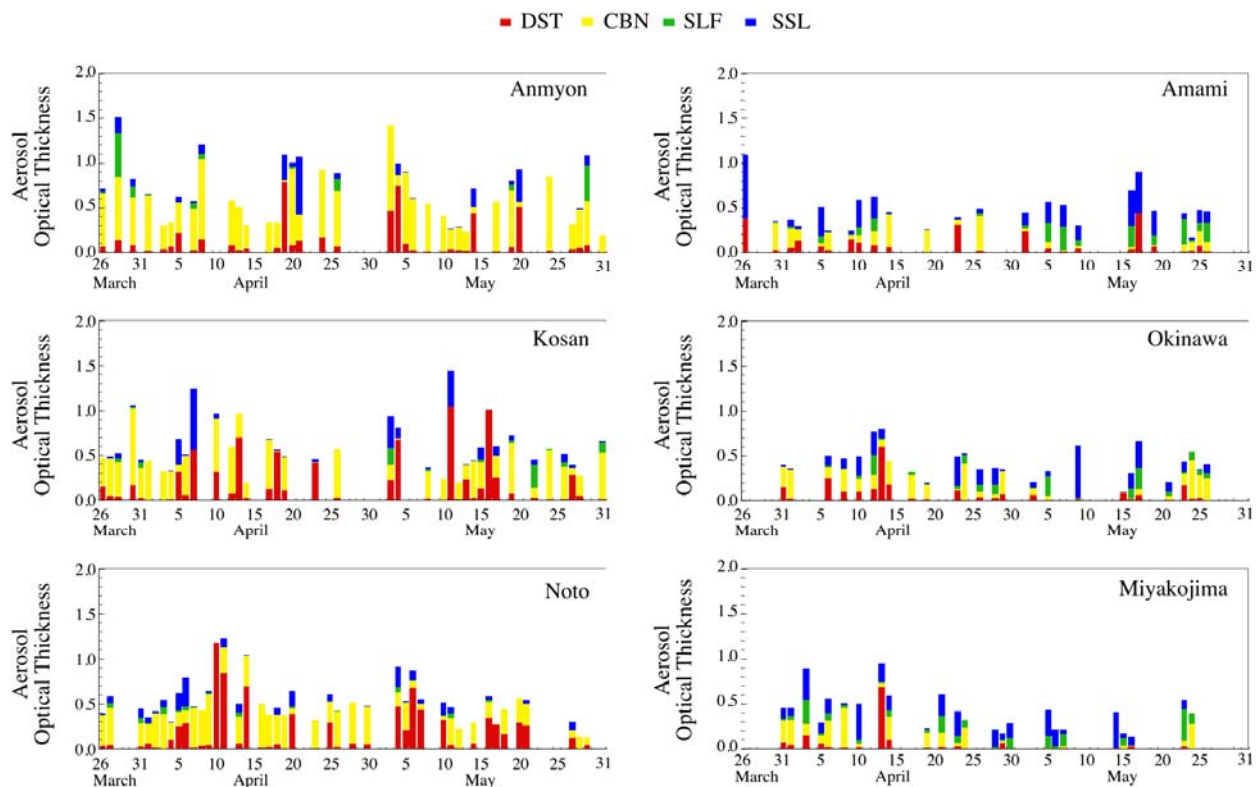


図3 SeaWiFS データによるエアロゾル解析から得られた各地点でのエアロゾル種別光学的厚さの時系列

2) 地上観測との比較

2003年3月15日から4月15日にかけて APEX プロジェクトによる雲・エアロゾルに関する集中観

測が実施され、奄美大島(28.43° N, 129.68° E)および福江島(32.75° N, 128.68° E)サイトにおいて、放射観測等とともにフィルターサンプリングによるエアロゾル化学成分分析が行われた。そこで、2003年 3月～4月の2ヶ月の期間について、奄美大島と福江島の2定点観測サイトにおいて、地上観測と衛星データのマッチアップを図った。マッチアップは、地上観測地点から 0.25度以内であり、かつ同領域内の光学的厚さ及びオンゲストローム指数の分散が各々0.05以下、0.1以下であることを条件に行った。

福江島サイトにおける衛星解析によるエアロゾル種別光学的厚さの時系列を図4に、また太田らによる化学成分分析結果を図5に示した。期間中 3/25-27 に光学的厚さおよび濃度が急激に増加している以外にはあまり大きな変動はみられないが、比較的清浄な場合でも光学的厚さが 0.2-0.4 とかなり混濁している状態にある。成分比を見てみると、硫酸性および炭素性エアロゾルがほとんどで、同サイトが大陸からの大気汚染の影響を強く受けていることが示唆された。衛星解析では直接エアロゾル種別の光学的厚さを推定することができないため、空間内での統計情報から推定しているが、3/25 に‘SLF’タイプが、また 4/5 に‘SSL’タイプが増加する変動パターンは、地上観測の結果を見事に捉えている。

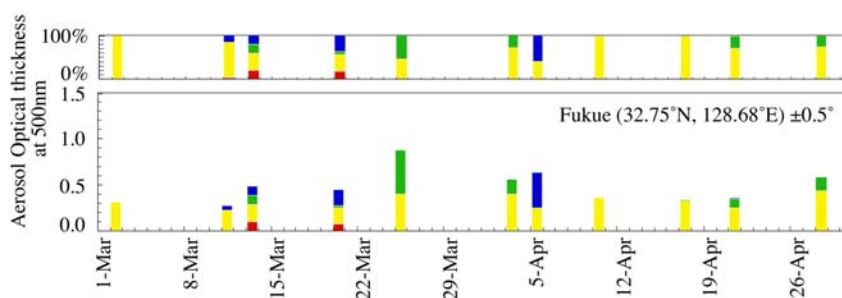


図4 衛星解析による 2003年 3月～4月の福江島におけるエアロゾル種別光学的厚さ
(■:DST, ■:CRB, ■:SLF, ■:SSL)

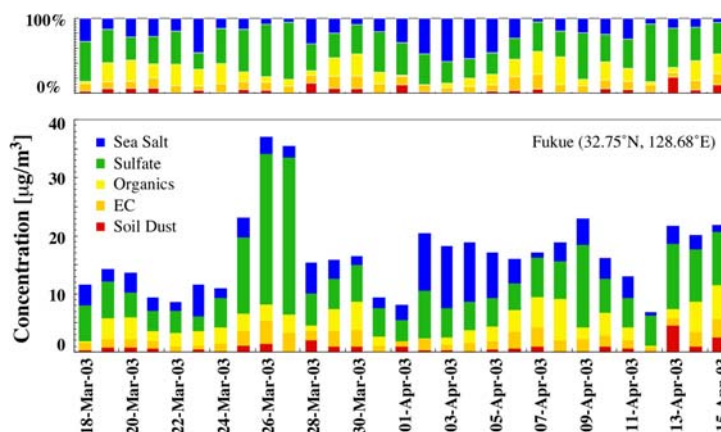


図5 化学成分分析による 2003年 3月～4月の福江島におけるエアロゾル成分濃度

福江島と奄美大島サイトにおいて、衛星解析と化学成分分析の結果が得られた 10日分について、それぞれから得られた成分比を図6にまとめた。衛星から推定されたエアロゾル種別光学的厚さの割合と化学成分分析により得られた各成分の濃度比には非常に高い整合性があるといえる。

MODIS データ解析では、軌道のほぼ半分と非常に広い範囲でサングリッターの影響がみられることを既に指摘したが、3/25 は正に観測地点が軌道のサングリッターサイドに、また 4/10 についてはそのエッジにあたるため、サングリッターの影響が不一致の原因の 1 つと考えられる。

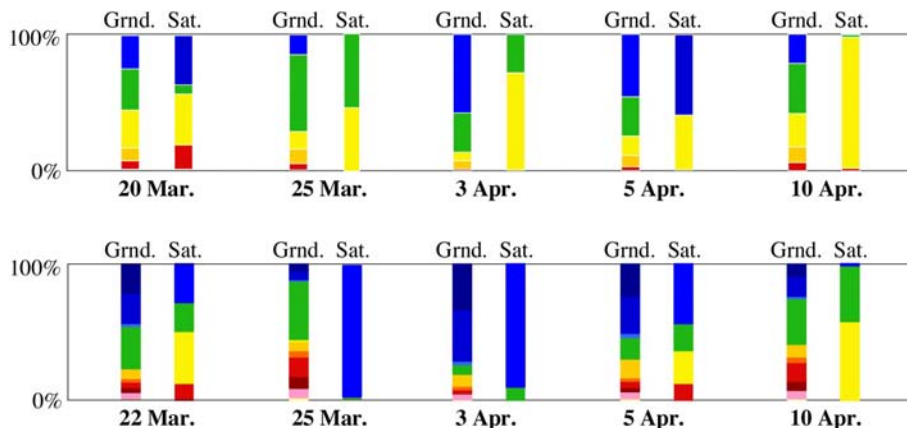


図 6 衛星解析から得られたエアロゾルタイプ比と化学成分析によるエアロゾル成分比
(上図：福江島、下図：奄美大島)

(2) 全球解析

1) 衛星データ整備

開発アルゴリズムによるエアロゾル解析に、現在利用可能な衛星データ (SeaWiFS, GLI, MODIS センサー) の輝度データの収集を行った (表 1)。取得データは 1km 解像度のオリジナルデータから約 5km 解像度にサブサンプリングされたものであるが、全球解析を効率的に実行する為に、 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ のセグメントデータを作成した。MODIS データについては、今後も継続してデータの取得および処理を実施していく予定である。

表1 全球衛星データの概要

センサー	プロダクト名	空間分解能	データ取得期間 (取得予定期間)	セグメントデータ 作成
SeaWiFS	L1A	4.5km (GAC)	1997.7-2003.12	1997.7-2003.12
GLI (Ver.2)	L2A_OA	5km	2003.1-2003.10	
	ATSEG	$0.25^\circ \times 0.25^\circ$		
	RMIN			
MODIS	MOD02SSH MOD03	5km	2000.2-2006.10 (2006.11-present)	2000.2-2005.12

2) 衛星解析

解析に使用した衛星データは、MODIS/Terra および GLI/ADEOS-II のセグメントデータで、MODIS については 2000年2月から2005年12月まで、GLI については 2003年2月 (実質的には4月) から 10

月の、現時点で入手可能な全データについて解析を行った。解析の一例として、図7に MODIS と GLI から得られた 2003年 4, 7, 10月の波長 550nm でのエアロゾルの光学的厚さを示す。GLI のほうが全体的に若干高めに推定される傾向が見られるが、主要なエアロゾル発生源付近の東アジアから北太平洋域、アラビア海域、サハラ沖大西洋、南アフリカ域、中央アメリカ付近等の厚いエアロゾル層の動向は、MODIS と GLI でほぼ同様に捉えられている。

エアロゾルタイプ別の光学的厚さを図8に示す。衛星から導出されるエアロゾルタイプ別光学的厚さは、直接気柱に含まれるそれぞれの種別の値を求めたものでなく、光学的厚さの気柱全量を卓越するタイプのもとしているため、いわゆる一般的な感覚でのそれとは異なる点注意が必要である。北アフリカのサハラ砂漠西岸沖や中東乾燥域近海の砂塵性エアロゾル、アフリカ南部や東南アジアのバイオマス燃焼起源エアロゾル、北アメリカ東岸とヨーロッパ西岸(それらを結ぶ北大西洋上)、東アジア東岸の人為起源エアロゾル等、主要なエアロゾルのシグナルが得られているが、海塩タイプが全般に過大評価であることが明白な以外にも、硫酸タイプの見積りが過小傾向になるなど、タイプ別の分布については多くの課題が見受けられる。

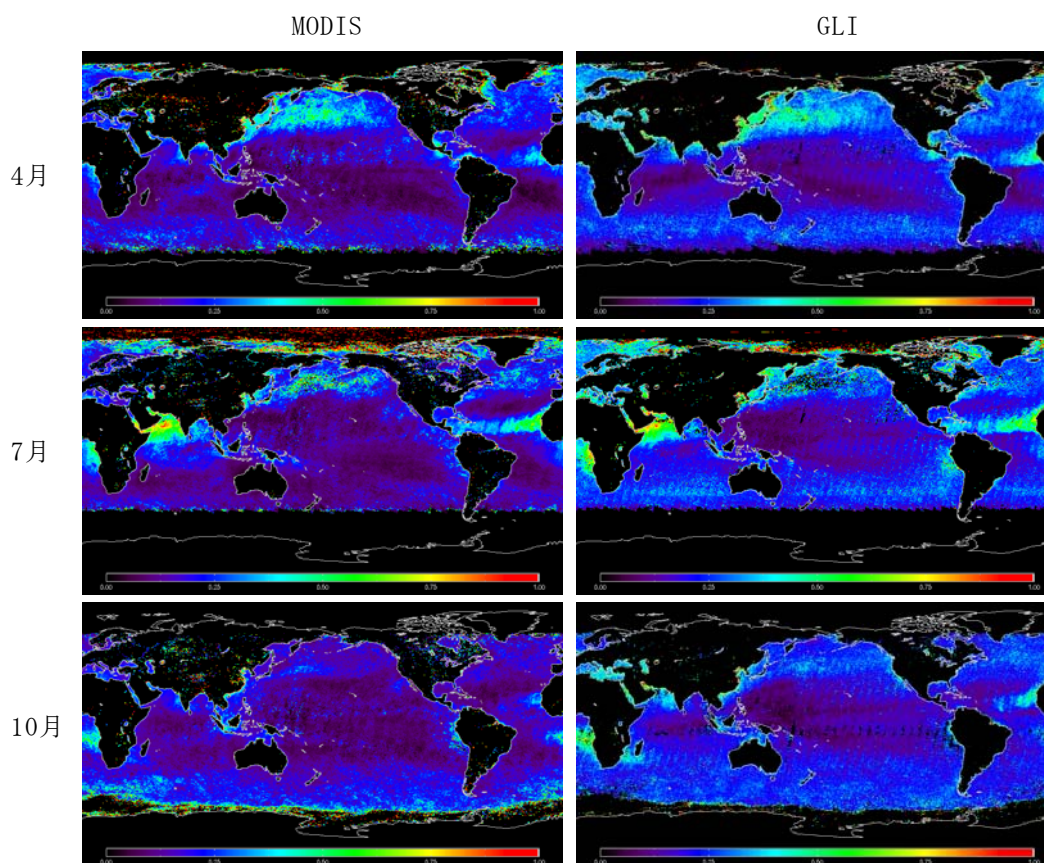


図7 MODIS/Terra(左) と GLI/ADEOS-II(右) から得られた 2003年4, 7, 10月のエアロゾルの光学的厚さ

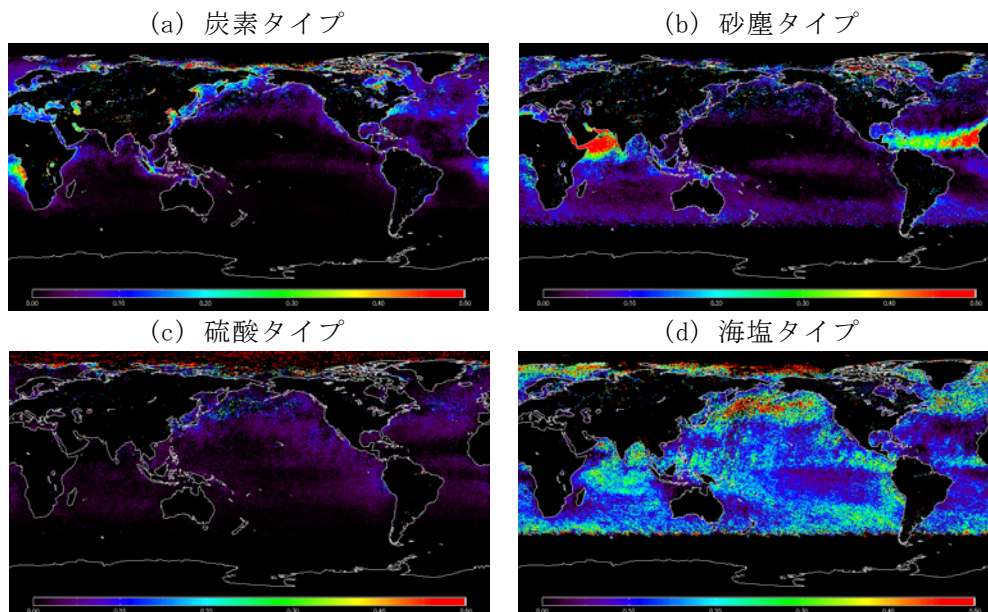


図8 MODIS/Terra から得られた 2003年7月のエアロゾルタイプ別光学的厚さ

3) 全球エアロゾル輸送モデルとの比較

衛星解析における問題の所在を明確にし、アルゴリズムの改善を計る為に、全球エアロゾル輸送モデルから得られたエアロゾル種別光学的厚さとの比較を行った。図9に全球エアロゾル輸送モデル SPRINTARS から得られたエアロゾルの光学的厚さ(九州大学応力研・竹村助教授提供)を示す。図7に示した衛星解析と比較してみると、サハラダストや南アフリカのバイオマス燃焼など主要なエアロゾル層は衛星—モデル間もほぼ同様の結果が得られている。しかし、衛星解析は、光学的に薄いところで特に過大評価がみられる。これは本解析に限らず、既存研究から一般に衛星解析は光学的に薄い領域で過大評価傾向にあり、全球平均でおよそ 0.05 のバイアスがあると指摘されている⁹⁾。

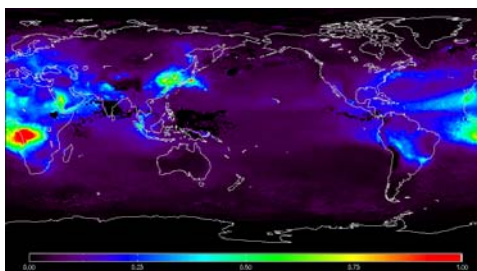


図9 SPRINTARS による 2003年7月のエアロゾルの光学的厚さ

図10に MODIS と SPRINTARS のエアロゾルの光学的厚さの全球平均時系列を示す。これによると本研究の MODIS 解析のモデル値に対するバイアスはおおよそ +0.03 で、衛星解析としては比較的精度よい解析ができているものと考えられる。

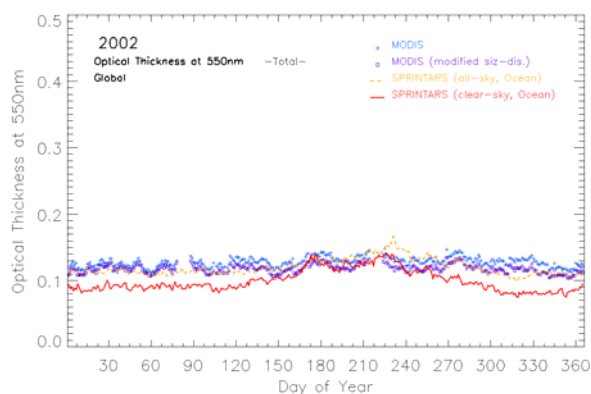


図10 衛星解析(MODIS)とモデル(SPRINTARS)のエアロゾル光学的厚さの
 全球平均の時系列(2003年)

SPRINTARS から得られたエアロゾル種別の光学的厚さを図11に示す。図8の衛星解析結果と比較してみると、サハラダストや中近東の砂塵性エアロゾル、東南アジアやアフリカ南部などの炭素性エアロゾルについては概ねよい一致を示すが、衛星解析はアマゾン域の森林火災起源の炭素性エアロゾルを過小評価している一方、東岸やヨーロッパ、東アジア東岸の大都市付近では、炭素タイプの寄与を過大評価(反対に硫酸タイプは過小評価)している。これは、あるタイプが卓越している場合の整合性がよいが、複数タイプが混在する場合に不一致がみられると捉えることもでき、両者の種別光学的厚さの定義の違いに合致する。衛星とモデルの比較結果を解釈し、アルゴリズム改良を行うためにも、この定義の違いがもたらす影響を把握しておくことは有益である。

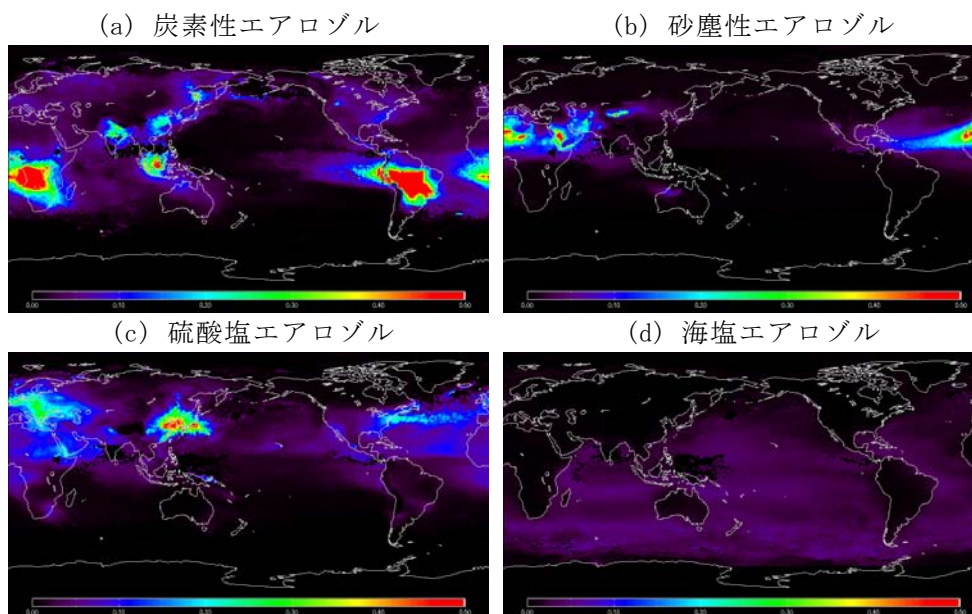


図11 SPRINTARS による 2003年7月のエアロゾル種別光学的厚さ

衛星解析では、粒径指標と近紫外波長での光吸収特性により種別を決定しているため厳密には一致しないが、まずは簡単な試算として、モデルから得られた種別光学的厚さ(daily)から、全エアロゾルの光学的厚さを、最も光学的に厚い種類のものとしたところ、全光学的厚さをある種類に割り振るため、全般に光学的厚さは増加する傾向がみられた。また、アマゾン域の炭素タイプは減少を、また大都市域で炭素性と硫酸性が混在していたところでは、光学的に優勢な炭素性が増加し、硫酸タイプは減少する傾向が示された。これは衛星の結果を支持するものではないが、光学的に優勢なタイプがより強い寄与を示す傾向は、今回モデルデータの活用において、エアロゾル種別を光学的厚さにより行ったことに起因するといえる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

衛星搭載受動型センサーを用いたエアロゾル解析システムの構築を行い、東アジア域のエアロゾルの光学的厚さ、オンゲストローム指数、エアロゾルタイプが準リアルタイムで得られるようになった。

奄美大島および福江島の観測サイトにおける地上観測と衛星観測とのマッチアップを図り、解析システムにより推定されたエアロゾル特性の検証を行った。フィルターサンプリングによる化学成分分析の結果との比較において、衛星から推定されたエアロゾル種別光学的厚さの割合が化学成分分析による各成分の濃度比と非常によく整合することが示された。

開発・改良を進めてきたアルゴリズムを MODIS/Terra および GLI/ADEOS-II データに適用し、エアロゾル特性の全球解析を行った。これにより、MODIS については 2000年2月から 2005年12月まで、また GLI については 2003年2月から 10月までのエアロゾルの光学的厚さ、オンゲストローム指数、エアロゾル種別の光学的厚さの全球分布が得られた。

衛星解析により得られたエアロゾル特性分布について、全球エアロゾル輸送モデルの結果と比較を行った。衛星解析は、清浄な領域での過大評価はあるものの、主要なエアロゾル層についてはモデルシミュレーションとよい一致をみた。衛星解析の過大評価は、全球平均でおよそ +0.03 で、既存研究により示されている衛星—モデル間のバイアス +0.05 に比べ、改善が示された。エアロゾル種別の光学的厚さについては、あるタイプが卓越する地域では整合するものの、多種類のタイプが混在する地域において一致しない部分も多く見られた。衛星解析における全エアロゾルの光学的厚さから種別値を求める過程、特に多種類のエアロゾルが混在した状態について、今後より詳細に検討していく必要性が示された。

(2) 地球環境政策への貢献

特に記載すべき事項はない。

6. 引用文献

- 1) IPCC (the Intergovernmental Panel on Climate Change): J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, and D. Xiaosu, Eds., Cambridge Univ. Press., 881pp (2001).
“Climate Change 2001: The Scientific Basis”
- 2) Higurashi, A., and T. Nakajima: *J. Atmos. Sci.*, **56**, 924-941 (1999).

- “Development of a two channel aerosol retrieval algorithm on global scale using NOAA AVHRR”
- 3) Mishchenko, M. K., I. V. Geogdzhayev, B. Cairns, W. B. Rossow, and A. A. Lacis: *Applied Optics*, **38**, 7325-7341 (1999).
- “Aerosol retrievals over the ocean using channel 1 and 2 AVHRR data: A sensitivity analysis and preliminary results”
- 4) Tanré, D., Y. J. Kaufman, M. Herman, and S. Mattoo: *J. Geophys. Res.*, **102**, 16971-16988 (1997).
- “Remote sensing of aerosol properties over oceans using the MODIS/EOS spectral radiances”
- 5) Deuzé, J. L., F. M. Bréon, C. Devaux, P. Goloub, M. Herman, B. Lafrance, F. Maignan, A. Marchand, F. Nadal, G. Perry, and D. Tanré: *J. Geophys. Res.*, **106**, 4913-4926 (2001).
- “Remote sensing of aerosols over land surfaces from POLDER-ADEOS-1 polarized measurements”
- 6) Higurashi, A., and T. Nakajima: *Geophys. Res. Lett.*, **29**(17), 1836, doi: 10.1029/ 2002GL015357 (2002).
- “Detection of aerosol types over the East China Sea near Japan from four-channel satellite data”
- 7) Takemura, T., H. Okamoto, Y. Maruyama, A. Numaguti, A. Higurashi, and T. Nakajima: *J. Geophys. Res.*, **105**, 17853-17873 (2000)
- “Global three-dimensional simulation of aerosol optical thickness distribution of various origins”
- 8) Takemura, T., T. Nakajima, O. Dubovik, B. N. Holben, and S. Kinne: *J. Climate*, **15**, 333-352 (2002)
- “Single-scattering albedo and radiative forcing of various aerosol species with a global three-dimensional model”
- 9) Kaufman, Y. J., O. Boucher, D. Tanré, M. Chin, L. A. Remer, and T. Takemura: *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L17804, doi:10.1029/2005GL023125 (2005)
- “Aerosol anthropogenic component estimated from satellite data”

7. 国際共同研究等の状況

UNEP/ABC(Atmospheric Brown Clouds)プロジェクトが実施したフィールドキャンペーンに参加し、本研究で構築したエアロゾル解析システムにより東アジア域エアロゾル特性のデータの提供を行った。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) A. Higurashi and T. Nakajima: *Geophys. Res. Lett.*, **29**(17), 1836, doi: 10.1029/ 2002GL015357 (2002).
- “Detection of aerosol types over the East China Sea near Japan from four-channel satellite data”
- 2) T. Takemura, I. Uno, T. Nakajima, A. Higurashi, and I. Sano: *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 2158, doi:10.1029/2002GL016251 (2002).
- “Modeling study of long-range transport of Asian dust and anthropogenic aerosols from East Asia”
- 3) T. Takemura, T. Nakajima, A. Higurashi, S. Ohta, and N. Sugimoto: *J. Geophys. Res.*, **108**(D23), 8659, doi: 10.1029/2002JD003210 (2003).

“Aerosol distributions and radiative forcing over the Asian-Pacific region simulated by SPRINTARS”

- 4) T. Nakajima, M. Sekiguchi, T. Takemura, I. Uno, A. Higurashi, D. Kim, B. J. Sohn, S. N. Oh, T. Y. Nakajima, S. Ohta, I. Okada, T. Takamura, and K. Kawamoto: *J. Geophys. Res.*, 108(D23), 8658, doi: 10.1029/2002JD003261 (2003).
“Significance of direct and indirect radiative forcings of aerosols in the East China Sea region”
- 5) M. Sekiguchi, T. Nakajima, K. Suzuki, K. Kawamoto, A. Higurashi, D. Rosenfeld, I. Sano, and S. Mukai: *J. Geophys. Res.*, 108(D23), 4699, doi:10.1029/2002JD003359 (2003).
“A study of the direct and indirect effects of aerosols using global satellite datasets of aerosol and cloud parameters”
- 6) K. Suzuki, T. Nakajima, A. Numaguti, T. Takemura, K. Kawamoto, and A. Higurashi: *J. Atmos. Sci.*, 61, 179-194 (2004).
“A study of the aerosol effect on a cloud field with simultaneous use of GCM modeling and satellite observation”
- 7) G. Myhre, F. Stordal, M. Johnstrud, A. Ignatov, M. I. Mishchenko, I. V. Geogdzhayev, D. Tanré, J. L. Deuzé, P. Goloub, T. Nakajima, A. Higurashi, O. Torres, B. N. Holben: *J. Atmos. Sci.*, 61, 499-513 (2004).
“Intercomparison of satellite retrieved aerosol optical depth over ocean”
- 8) R. W. Bergstrom, R. W., P. Pilewskie, J. Pommier, M. Rabbette, P. B. Russell, B. Schmid, J. Redemann, A. Higurashi, T. Nakajima, P. K. Quinn: *J. Geophys. Res.*, 109, D19S15, doi:10.1029/2003JD004467 (2004).
“Spectral absorption of solar radiation by aerosols during ACE-Asia”
- 9) V. N. Kapustin, A. D. Clarke, Y. Shinozuka, S. Howell, V. Brekhovskikh, T. Nakajima, and A. Higurashi: *J. Geophys. Res.*, 111, D04202, doi:10.1029/2004JD005527 (2006).
“On the determination of a cloud condensation nuclei from satellite: Challenges and possibilities”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) A. Higurashi, and T. Nakajima: *Proceeding of AMS 11th conference on atmospheric radiation*, 59-62 (2002)
“Aerosol type classification with SeaWiFS four-channel radiance data”
- 2) M. Sekiguchi, T. Nakajima, K. Kawamoto, and A. Higurashi: *Proceeding of AMS 11th conference on atmospheric radiation*, J137-J138 (2002)
“Global and regional correlations between aerosol and cloud parameters”
- 3) T. Nakajima, H. Kumagai, T. Y. Nakajima, T. Takamura, T. Takamura, A. Uchiyama, I. Uno, B-C. Choi, A. Higurashi, D. Kim, H. Masunaga, S. Ohta, and APEX Science Team: *Proceeding of AMS 11th conference on atmospheric radiation*, J137-J138 (2002)
“An overview of the Asian atmospheric particle environmental change studies (APEX)”
- 4) 高見昭憲、日暮明子、三好猛雄、下野彰夫、畠山史郎: *エアロゾル研究*、20巻、352-354、(2005)
“東シナ海域北部と南部におけるエアロゾル化学組成の差異”

- 5) T. Y. Nakajima, T. Nakajima, A. Higurashi, N. Kikuchi, and M. Kuji: Journal of Remote Sensing Society of Japan (日本リモートセンシング学会誌), Vol. 26, (2006)
 “Atmospheric environment observed by GLI aboard ADEOS-II (ADEOS-II 衛星搭載 GLI センサーは大気の何を見てきたか)”

(2) 口頭発表 (学会)

- 1) T. Nakajima, A. Higurashi, Y. Liu, T. Nakajima, and H. Masunaga: AGU 2002 spring meeting, Washington DC, 2002.
 “Aerosol Characterization with Satellite Remote Sensing over Ocean”
- 2) A. Higurashi, and T. Nakajima: AMS 11th conference on atmospheric radiation, Ogden, Utah, 2002.
 “Aerosol type classification with SeaWiFS four-channel radiance data”
- 3) M. Sekiguchi, T. Nakajima, K. Kawamoto, and A. Higurashi: AMS 11th conference on atmospheric radiation, Ogden, Utah, 2002.
 “Global and regional correlations between aerosol and cloud parameters”
- 4) A. Higurashi, and T. Nakajima: The 5th APEX International Workshop, Miyazaki, Japan, 2002.
 “Aerosol type classification with SeaWiFS four channel radiance data in the APEX E2 / ACE-Asia.”
- 5) M. Sekiguchi, T. Nakajima, K. Kawamoto, A. Higurashi, I. Sano, and S. Mukai: 8th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality, Tsukuba, Japan, 2003.
 “A study of the direct and indirect effects of aerosols using global satellite datasets of aerosol and cloud parameters”
- 6) 中島映至・関口美保・竹村俊彦・鶴野伊津志・日暮明子・Dohyeong Kim, Byung Ju Sohn, Sung-Nam Oh, 中島孝・太田幸雄・岡田格・高村民雄・河本和明: 日本気象学会2003年春季大会、つくば、2003年。
 “東アジア域のエアロゾルの直接、間接の放射強制について”
- 7) A. Higurashi: The 6th APEX International Workshop, Awaji Island, Hyogo, 2003
 “Aerosol type classification with MODIS four channel radiance data during the APEX-E3”
- 8) T. Nakajima, M. Sekiguchi, T. Takemura, I. Uno, A. Higurashi, D. Kim, B. J. Sohn, S.-N. Oh, T. Y. Nakajima, S. Ohta, and I Okada: XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG 2003), Sapporo, Japan, 2003.
 “Evaluation of the direct and indirect radiative forcings of aerosols in the East China Sea region”
- 9) M. Sekiguchi, T. Nakajima, K. Kawamoto, A. Higurashi, I. Sano, and S. Mukai: XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG 2003), Sapporo, Japan, 2003.
 “A study of the correlation between aerosol and cloud parameters using satellite datasets”
- 10) A. Higurashi, T. Nakajima, S. Ohta, T. Takamura, and B. N. Holben: XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG 2003), Sapporo, Japan, 2003.
 “Aerosol characteristics over the East China Sea from satellite four-channel radiances”
- 11) R. Höller, T. Y. Nakajima, A. Higurashi, and T. Nakajima: Workshop on “Global aerosol measurements for climate studies –present and future”, Paris, France, 2003.

- “Remote sensing of aerosols over land from GLI.”
- 12) R. Höller, A. Higurashi, T. Nakajima, T. Y. Nakajima: The Conference of the Remote Sensing Society of Japan, Nagaoka, Niigata, Japan, 2003.
- “Retrieval of aerosol optical thickness and single-scattering albedo over land from GLI”
- 13) T. Nakajima, T. Takamura, T. Takemura, A. Higurashi, T. Y. Nakajima, and H. Okamoto: International Conference on Aerosol, Clouds and Indian Monsoon, 2004.
- “Scientific Issues in Understanding the Climate Effects of Anthropogenic Aerosols in Asia”
- 14) R. Bergstrom, P. Pilewskie, P. Russell, B. Schmid, J. Redemann, A. Higurashi, T. Nakajima, and P. Quinn: International Radiation Symposium (IRS2004), Busan, Korea, 2004.
- “Spectral absorption of solar radiation by aerosols during ACE-ASIA”
- 15) T. Nakajima, A. Higurashi, Y. Y. Nakajima, M. Sekiguchi, and T. Takemura: International Radiation Symposium (IRS2004), Busan, Korea, 2004.
- “On an evaluation of the aerosol radiative forcing with use of satellite remote sensing, surface observation, and a climate model”
- 16) A. Higurashi, and T. Nakajima: International Radiation Symposium (IRS2004), Busan, Korea, 2004.
- “Detection of aerosol types from space-borne radiometer over the ocean”
- 17) 日暮明子：APEX&ACECAP ワークショップ、蓼科(長野)、2004年
“東アジア域におけるエアロゾル種別分類”
- 18) 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：第23回レーザーセンシングシンポジウム、つくば、2004年
“大気放射収支研究におけるライダー観測の展望”
- 19) 菊地信行、日暮明子、青木一真、片桐秀一郎、中島孝: 日本気象学会2005年度春季大会、本郷（東京）、2005年
“ADEOS-II GLIエアロゾルプロダクトの検証”
- 20) 中島孝、中島映至、日暮明子：日本リモートセンシング学会第38回(H17年度春季)学術講演会、野田、2005年
“ADEOS-II/GLIは大気の何を見てきたか”
- 21) A. Higurashi, A., R. Höeller, and T. Nakajima: Scientific assembly of the International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences (IAMAS 2005), Beijing, China, 2005
“Detection of aerosol optical properties using satellite shorter visible channels”
- 22) Z. Xuepeng, I. Laszlo, M. Mishchenko, O. Torres, and A. Higurashi: Scientific assembly of the International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences (IAMAS 2005), Beijing, China, 2005.
“A study of the global aerosol long-term trend using satellite observations”
- 23) Higurashi, A.: 1st Workshop on the Assessment of Global Aerosol Products, Aerosol Working Group(AWG) for Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX) Radiation panel, College Park, Maryland, 2006.
“MODIS and GLI aerosol analysis with 4-channel algorithm and the comparison with

SPRINTARS model simulations.”

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。