

6. 東シナ海域におけるエアロゾル光学特性の評価

ESTIMATION OF OPTICAL PROPERTIES OF AEROSOLS IN THE EAST CHINA SEA

○小川 洸平*、太田 幸雄*、村尾 直人*、山形 定*
Kohei Ogawa*, Sachio Ohta*, Naoto Murao*, Sadamu Yamagata*

Abstract: Scattering coefficient, absorption coefficient, size distribution and mass of atmospheric aerosols were measured at Fukue Island in the East China Sea in March 2007. The scattering coefficient varied from 6 to 340 Mm^{-1} with an average of 67 Mm^{-1} at 530 nm wavelength, and the absorption coefficient varied from 0.1 to 49 Mm^{-1} with an average of 7.6 Mm^{-1} at 565 nm wavelength. On March 22, the mass concentration increased with increase of scattering and absorption coefficients, which might be caused by long range transport of aerosols originated in the continental China.

KEYWORDS: atmospheric aerosols, scattering coefficient, absorption coefficient, the East China Sea

1. はじめに

近年の東アジア地域における人間活動の著しい発展は、ガス状汚染物質やエアロゾルの濃度を上昇させ、深刻な大気汚染を引き起こす原因となっている。さらに、これらのエアロゾルは季節風などによって東シナ海域などに輸送されるため、周辺地域においても大気環境影響を引き起こす原因となる。人為起源エアロゾルは、人体への影響はもとより、太陽放射を散乱・吸収することで地球の放射収支を変化させ、気候影響をもたらす可能性がある（直接効果）。そのため、東アジア地域およびその周辺地域において、エアロゾルの光学および物理・化学的特性の評価が急務であると考えられる。また、特に春先には日本各地で黄砂が観測されることがある。黄砂は中国内陸部の砂漠地帯から巻き上げられた砂塵が輸送されるものであるが、黄砂に含まれる土壌粒子が引き起こす直接効果の影響もまた大きい。そのため、東アジア地域および周辺地域におけるエアロゾル特性を正しく評価する上で、黄砂由来の土壌粒子の特性の評価は不可欠といえる。しかし、エアロゾルのもたらす放射影響については、これまでに多くの研究がなされているものの、未だに不明確な部分が多いのが現状であり、今後さらに研究を深めていくことが必要である。

以上の観点から、本研究では、東シナ海域を対象としたエアロゾルの特性評価を目的とし、2007年3月に、長崎県福江島に設置された観測サイトにおいて集中観測を行った。ここでは、吸収係数や散乱係数の光学特性値のほか、粒径分布、重量濃度の観測結果を示す。さらに、エアロゾル光学特性の変化について、過去に同サイトで行われた春季集中観測データを参考にし、後退流跡線解析を用いてエアロゾル輸送経路の考察を行った。

2. 観測概要

2.1 観測期間・場所

* 北海道大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Hokkaido University

2007年3月16日～25日の10日間にわたり、長崎県五島市三井楽町濱ノ畔（福江島、32° 44' N, 128° 40' E）に設置された観測サイトにおいてエアロゾル光学特性の集中観測を行った（図1）。福江島は長崎港の西およそ100km、五島列島の最南端に位置する。観測サイトは京ノ岳（183m）の中腹に位置し、周囲からやや高い位置に存在する。周辺の人家などは少なく、大規模な人為起源エアロゾル発生源は存在しない。

2.2 観測機器・方法

観測項目は、エアロゾルの吸収係数、散乱係数、個数濃度、総重量濃度である。以下に使用した機器を示す。

- 散乱係数 [Mm^{-1}] : Integrating Nephelometer (IN, Radiance research)

平均化時間：1min、測定波長：530nm、流量：5 L/min

- 吸収係数： [Mm^{-1}] : Particle Soot/ Absorption Photometer (PSAP, Radiance Research)

平均化時間：1min、測定波長：565nm、流量：1L/min

1日につき1～2回のフィルター交換を行う

- 個数濃度 [cm^{-3}] : Optical Particle Counter (OPC, MetOne)

粒径が0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 μm 以上のエアロゾルの個数濃度を測定。流量：1 L/min

ただし、観測数日後に機器の故障が発生したため、測定値の解析には総合地球環境学研究所（京都市）が同時期に同サイトで使用したOPC(Rion、 $>0.3\mu\text{m}$)のデータを使用した。

流量：1 L/min

- 総重量濃度 [μgm^{-3}] : ピエゾバランス粉塵計 (KANOMAX)

ユニバーサルカウンター(METEX)および外付けポンプ(Gilian)と併用し、数時間の連続観測が可能なように改良した。1日につき1度、午前10時前後から1時間エアロゾルをフィルター上に捕集し、流量とサンプリング時間より濃度の算出を行った。

流量：1L/min

観測サイトの屋根付近、地上約2mの地点に設けた吸引口から採気を行った。IN, PSAPについてはマニホールドを通した後に、OPCおよび粉塵計については外気を直接採気した。

3. 結果および考察

3.1 観測データ

表1に、今回観測した散乱係数 σ_s 、吸収係数 σ_a 、エアロゾル個数濃度 N 、エアロゾル重量濃度 C のデータを示す。 σ_s および σ_a の値は、10分間平均に換算してプロットした。 σ_s は6～340 Mm^{-1} の範囲をとり平均±標準偏差は $67 \pm 67 \text{Mm}^{-1}$ 、最頻値は36 Mm^{-1} であった。一方、 σ_a は0.1～49 Mm^{-1} の範囲をとり、平均±標準偏差は $7.6 \pm 7.4 \text{Mm}^{-1}$ 、最頻値は5.1 Mm^{-1} であった。 N については、粒径 $>0.3\mu\text{m}$ の範囲では、粒径が大きくなるにつれて N が減少していく様子が確認された。 C の平均±標準偏差は $24.9 \pm 5.3 \mu\text{gm}^{-3}$ であった。

図2に、集中観測内での σ_s 、 σ_a 、 N 、 C の時間変動の様子を示す。時間の単位は日[day]となっているが、ある日付の目盛りがその日の午前0時を示している。図2より、 σ_s 、 σ_a 、 N が3月22日前後に著しく上昇した様子が分かる。この日については、観測サイト周辺のみならず福江島全域にわたって霞がかかっていた様子が目測で確認できたため、エアロゾルの量が一時的に上昇し、特性値の変化が生じたものと考えられる。

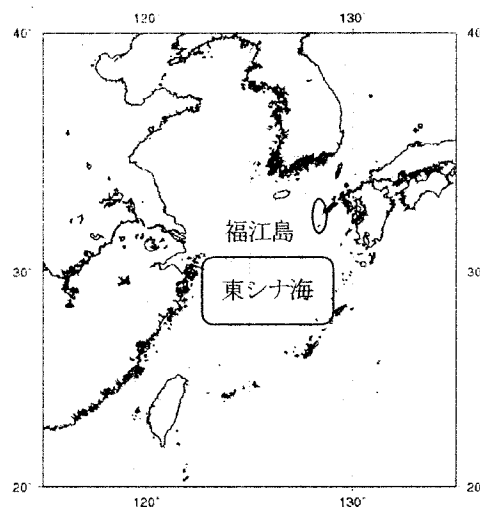


図1 福江島の位置

なお、(b)については、21 日夜から 22 日朝にかけて PSAP のフィルター透過率が吸収係数の測定可能限界を下回ったため、 σ_a は測定されていない。また、3 月 20 日未明にエアロゾル量が一時的に減少したが、これはこの時間に数度にわたって生じたしゅう雨によって、大気中のエアロゾルが除かれた（ウォッシュアウト効果）ためであると考えられる。

表 1 観測されたエアロゾル特性値（ σ_s , σ_a の単位は Mm^{-1} , N の単位は cm^{-3} , C の単位は μgm^{-3} ）

parameter	サンプル数	平均	標準偏差	最頻値	百分位			
					10	50	90	99
σ_s	1273	67.3	67.3	35.4	27.6	39.2	122.1	332.0
σ_a	1202	7.6	7.4	5.1	3.3	5.2	14.7	41.4
$N(>0.3\mu\text{m})$	1264	165857	141436	150346	67886	103243	317615	668512
$N(>0.5\mu\text{m})$	1264	14624	18391	5244	4348	6942	32052	85819
$N(>1\mu\text{m})$	1264	1048	1026	390	375	593	2273	4864
$N(>2\mu\text{m})$	1264	188	149	76	68	120	458	629
$N(>5\mu\text{m})$	1264	3	3	1	0	2	8	15
$N(0.3\text{--}2\mu\text{m})$	1264	165670	141335	150139.0	67765	103166	317442	667883
$N(2\text{--}5\mu\text{m})$	1264	185	147	85.0	67	119	449	613
C	7	24.9	5.3					

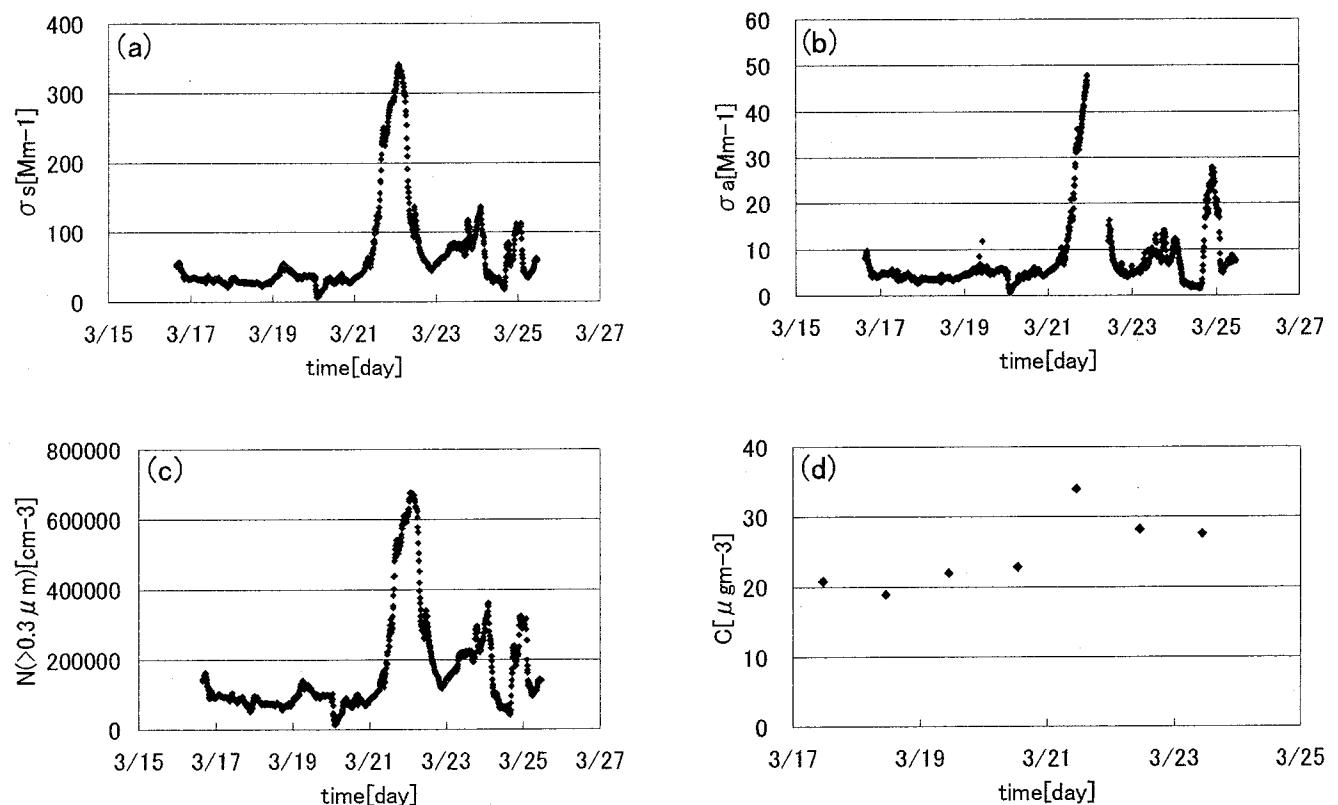


図 2 (a) σ_s , (b) σ_a , (c) N , (d) C の時間変動

3.2 観測されたデータ間の関係

3.2.1 単一散乱アルベド

図 3 に単一散乱アルベド ω_0 [-] の時間変動を示す。 ω_0 は $\{\sigma_s/(\sigma_s+\sigma_a)\}$ で与えられ、放射の消散（散乱と吸収の和）に対する散乱の割合を示す値である。最大で 1 の値をとり、値が大きいほど散乱が卓越していることを表す。なお、 σ_a の測定が不可能であった時間帯においては、 ω_0 の算出は行っていない。

集中観測期間内の ω_0 の平均±標準偏差は、 0.88 ± 0.03 となった。海域における ω_0 の一般的なデータと比較して小さい値となっているが（例えば、Dubovik et al. (2001) によるハワイ・Lanai 島に

おける ω_0 の値は 0.97 ± 0.03 である）、これは吸収性をもつ人為起源エアロゾルや土壌粒子などの影響が現れた結果と考えられる。また、3 月 22～24 日朝にかけては、 ω_0 が他の日と比較して高い値となっており、散乱が比較的卓越している様子が示されている一方、3 月 24 日午後には ω_0 が一時的に減少しており、吸収性エアロゾルが卓越している様子が示されている。

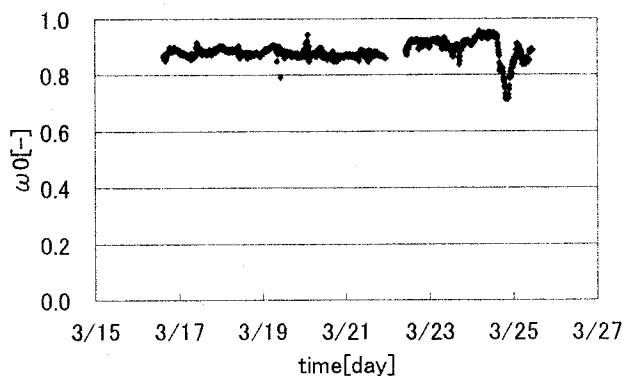


図 3 ω_0 の時間変動

3.2.2 散乱係数・吸収係数と個数濃度

図 4 に σ_s および σ_a と微小粒子個数濃度 $N(0.3-2\mu\text{m})$ および粗大粒子個数濃度 $N(2-5\mu\text{m})$ の関係を示す。これより、 σ_s および σ_a の値は、微小粒子個数濃度とは強い相関が見られるが、粗大粒子個数濃度に対しては相関が弱いことがわかる。これより、測定波長域（可視領域）の放射においては、微小粒子が効果的に放射を散乱・吸収し、エアロゾル光学特性を特徴付ける要素となっていることが確認できる。

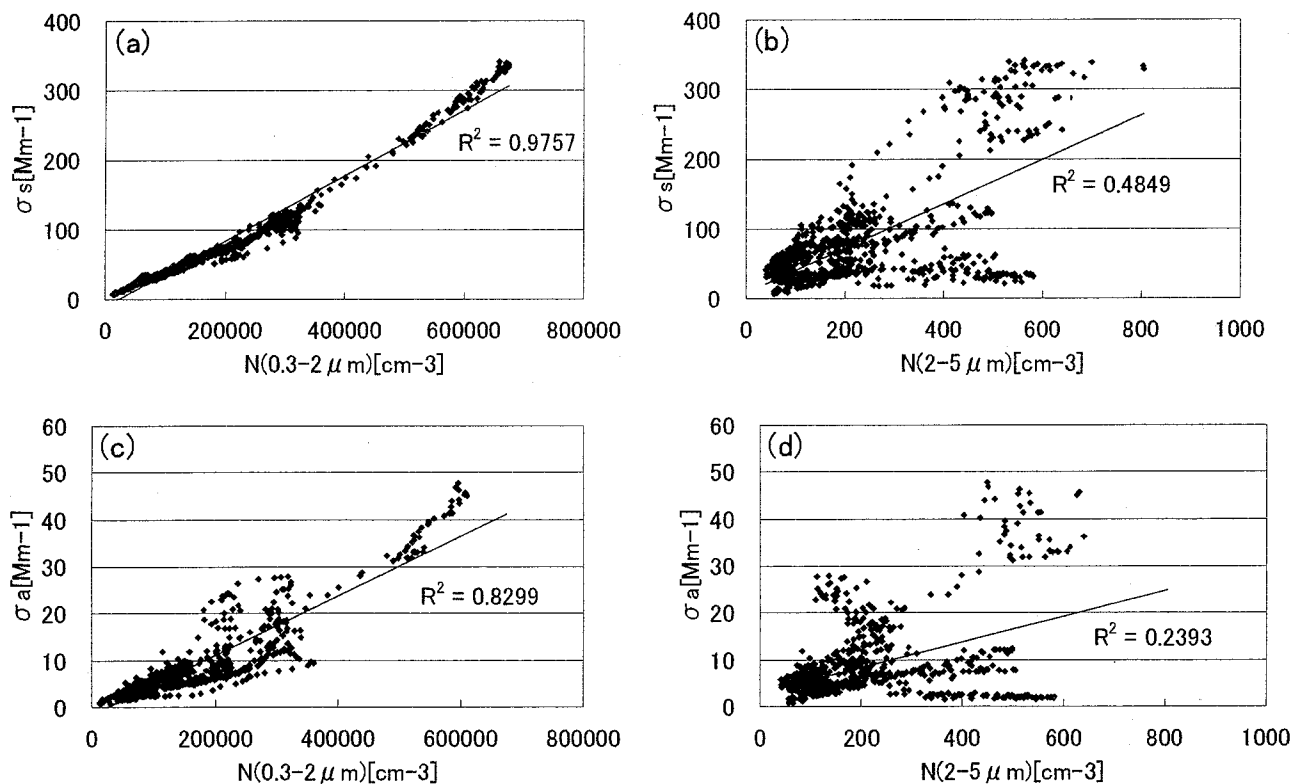


図 4 (a) σ_s と $N(0.3-2\mu\text{m})$, (b) σ_s と $N(2-5\mu\text{m})$, (c) σ_a と $N(0.3-2\mu\text{m})$, (d) σ_a と $N(2-5\mu\text{m})$ の関係

3.2.3 個数濃度と重量濃度

図5に全粒子個数濃度 $N(>0.3\mu\text{m})$ と C の時間変動の様子を示す。図中、 N の値は C の測定を行った1時間内の平均値である。これより、 N と C の変動がおおよそ一致していることがわかる。しかし、3月22～23日にかけては、個数濃度と重量濃度の比が他の日の場合と異なっている。また、このときの単一散乱アルベド ω_0 は比較的高い値となっており、散乱の寄与度が比較的高いことがわかる。これより、散乱効果を示す微小粒子の量が一時的に増加したことが推察される。このような粒子の例としては、 SO_x や NO_x などの人為起源粒子が代表的なものとして考えられ、これらの粒子による散乱の寄与が大きかったことが推察される。

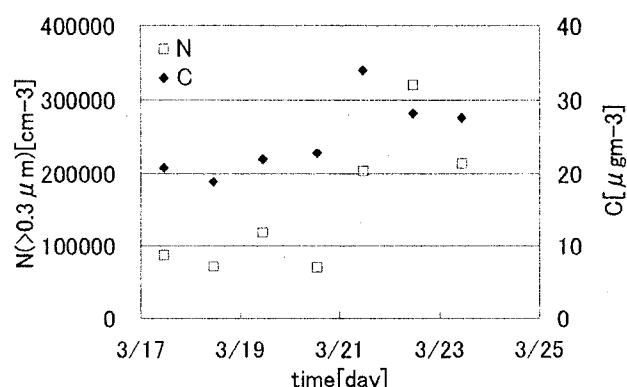


図5 $N(>0.3\mu\text{m})$ と C の時間変動

3.3 後退流跡線解析によるエアロゾル発生源の推察

3月21～22日に見られたエアロゾルの一時的な上昇の原因を探るため、後退流跡線解析を用いてエアロゾル発生源を推察する。後退流跡線解析はエアロゾルの発生源を解明する有効な手段であり、ある地点のある時刻における気塊が輸送された経過を、3次元的に解析するものである。ここでは、過去に本研究が福江島で行った春期の観測中に、吸収係数 σ_a が同様な突発的上昇を見せた場合（おおよそ 30Mm^{-1} 以上）について、高度 850hPa に到達する気塊の5日間の経路を解析した（図6）。解析には気象庁編集の全球客観解析データを用いた。図6より、 σ_a の大きい多くの場合で中国大陆からの気塊の輸送が行われていることがわかる。特に大陸北東部に位置する北京などの都市部を通る比較的低高度の気塊の輸送が多いが、これはガス状排出物質などに起因する人為起源エアロゾルの影響をもたらすと考えられる。また、大陸内部から比較的長い距離の輸送が行われるケースもあるが、これは大陸内部の砂漠地帯を通過していることから、黄砂の輸送がなされている可能性が考えられる。

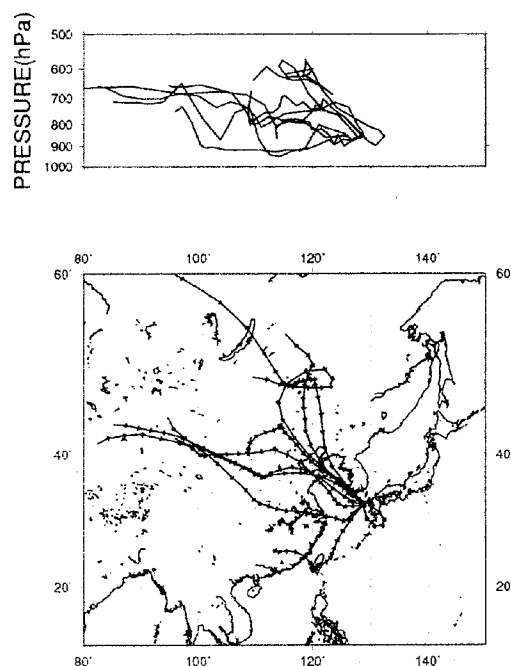


図6 σ_a が高い日の流跡線解析結果

4. 結論

本研究では、2007年3月に行われた長崎県福江島における集中観測より、東シナ海域を対象としたエアロゾル光学特性の評価を行った。以下に結果のまとめを示す。

- 集中観測期間中、散乱係数の値は $6\sim 340\text{Mm}^{-1}$ [平均 $=67\text{Mm}^{-1}$ 、最頻値 $=35.4\text{Mm}^{-1}$]、吸収係数の値は $0.1\sim 49\text{Mm}^{-1}$ [7.6Mm^{-1} , 5.1Mm^{-1}] であった。
- 3月22日にはエアロゾル個数濃度の急上昇が見られた。これに伴い散乱・吸収係数の値が一時的に著しく増加した。

- 複数の特性値の比較評価より、観測期間内中における散乱・吸収性およびエアロゾル組成の変化が示唆された。また、可視領域放射に対して微小粒子が散乱・吸収に効果的に寄与する様子が示された。
- 流跡線解析の結果、中国大陸からの気塊流入の影響が大きいことが推察された。
 今後は、フィルターサンプリングにより捕集されたエアロゾルの成分分析を行い、エアロゾルの光学特性および化学成分について解析をより進めていく予定である。

本研究を進める上で、現地観測およびデータ処理においてご協力頂いた、人間文化研究機構総合地球環境学研究所・片桐秀一郎様、五島市総務課・久保実様に、この場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

O.Dubovik, B.Holben, T.F. Eck, A.Smirnov, Y. J. Kaufman, M. D. King, D. Tanre, I. Slutsker: Variability of Absorption and Optical Properties of Key Aerosol Types Observed in Worldwide Locations. Journal of the Atmospheric Sciences, 2001.

気象庁ホームページ : www.jma.go.jp/

長谷川就一：多成分系大気エアロゾルの光学的特性に関する研究、2001年北海道大学博士論文

笠原幹夫・東野達：エアロゾルの大気環境影響、京都大学学術出版会、2007