

「地球変動のメカニズム」

平成11年度採択研究代表者

中島 映至

(東京大学気候システム研究センター センター長／教授)

「アジア域の広域大気汚染による大気粒子環境の変調」

1. 研究実施の概要

本研究APEX (Asian Atmospheric Particle Environmental Change Studies) では、アジア域の人為起源エアロゾルによって、同地域の雲の場がどのように変化し、その結果、放射エネルギー収支と降雨効率がどのように変化するかを調査する。2003年度は、2003年3月から4月にかけて奄美大島周辺において第3回APEX観測実験 (APEX-E3実験) を実行し、大陸領域から流れ出すエアロゾルプルームとそれに伴って変質する雲の特性を詳細に観測した。また、人工衛星データ解析やエアロゾルモデル計算を実施した。これらのデータ解析の結果、春季の東シナ海領域ではエアロゾルが大気上端で -6 W/m^2 、地表面では -17 W/m^2 程度の大きな日平均放射強制を作りだしていること、黄砂性エアロゾルの場合には -20 から -40 W/m^2 と言うさらに大きな放射強制を作ることが明らかになった。このような大きな光吸収はフレッシュな土壌性エアロゾルでは不可能で、輸送中に人為起源エアロゾルと相互作用を起こしたと推測される。

一方、全球衛星データ解析と大循環モデルから得られた全球平均の放射強制力の評価については、大気上端での人為起源エアロゾルの直接効果は -0.2 W/m^2 程度と小さいことが分かったものの、間接効果の大きさが -0.8 から -1.5 W/m^2 程度と未だに大きくばらついている。しかし、その原因は、衛星解析においては観測手法の違い、モデリングにおいては陸上エアロゾルから生成される雲核数の評価に大きな不確実性があることが明らかになってきた。これらの知見を活かして、最終年度ではエアロゾルの直接・間接気候影響の不確実性を大きく縮める予定である。

2. 研究実施内容

本研究APEX (Asian Atmospheric Particle Environmental Change Studies) では、アジア域の人為起源エアロゾルによって、同地域の雲の場がどのように変化し、その結果、放射エネルギー収支と降雨効率がどのように変化するかを調査する。2003年度は、2003年3月15日から2003年4月14日まで奄美大島周辺において第3回APEX観測実験 (APEX-E3実験) を実行し、大陸領域から流れ出すエアロゾルプルームとそれに伴って変質する雲の特性を詳細に観測した。また、それをサポートするために、東シナ海領域での人工衛星デ

ータ解析やエアロゾルモデル計算を実施した。あわせて、APEX-E1、E2局地実験で得られたデータ解析を平行して行った。現在、これらの豊富なデータを解析中であるが、春季の東シナ海領域では様々なタイプが複雑に入り交じった状態にあること、これらのエアロゾルが大気上端で -6 W/m^2 程度、地表面では -11 から -23 W/m^2 程度の大きな日平均放射強制を作りだしていることなどが明らかになったが、さらに今年度の解析によって、土壌性エアロゾルはサハラ砂漠域などのものに比べて、強い光吸収をするために地表面では -20 から -40 W/m^2 と言う大きな放射強制を示すことが明らかになった（図1）。このような大きな光吸収はフレッシュな土壌性粒子では不可能で、輸送中に人為起源エアロゾルが混合したり、揮発性部分が土壌性粒子に吸着されたりすることによって引き起こされることが推測できる。しかし、化学的に算定されるエアロゾルに一次散乱アルベドは、ネフロメーターと吸収ホトメーターで測定された一次散乱アルベドよりも系統的に大きい傾向があることも見いだされたので、最終年度で算定手法の改良を行う予定である。

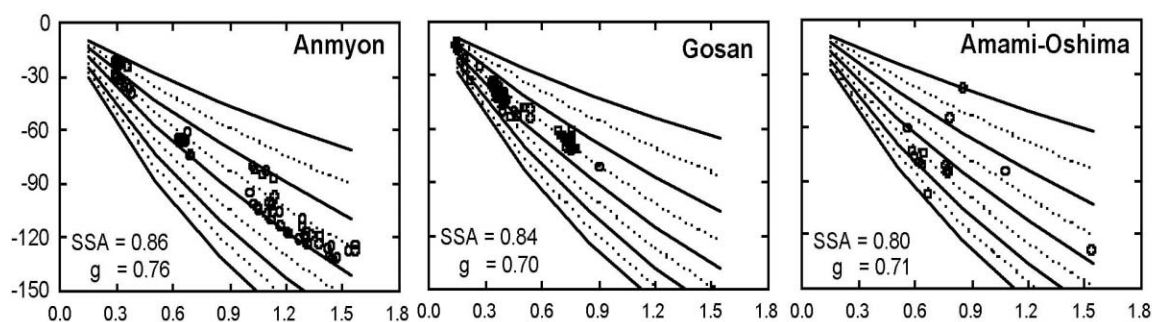


図1 波長500nmにおけるエアロゾルの光学的厚さと地表面放射強制力の関係。2001年4月の韓国Anmyon、Gosanおよび奄美大島のデータ。

一方、全球衛星データと大循環モデルを使って得られた全球平均の放射強制力の評価については、大気上端でのエアロゾルの直接効果は -0.2 W/m^2 程度と小さいことが分かったものの、間接効果の大きさが -0.8 から -1.5 W/m^2 程度と未だに大きくばらついている。しかし、その原因は、衛星解析においては観測手法の違いによって作り出される大きな誤差、モデリングにおいては陸上エアロゾルが作り出す雲核数の評価に大きな不確実性があることが明らかになってきた。これらの点を確認するために、現在、メソスケールの非静力学モデルを利用したビン型エアロゾル・雲モデルを作成して数値実験中である。これらの知見を生かして、最終年度ではエアロゾルの直接・間接気候影響の不確実性を大きく縮める見通しがたった。

3. 研究実施体制

リーダーグループ

- ① 研究分担グループ長：中島 映至（東京大学気候システム研究センター、教授）
- ② 研究項目：“エアロゾルの直接および間接放射強制力の総合的な評価”

航空観測グループ

- ① 研究分担グループ長：内山 明博（気象研究所気候研究部第3研究室、室長）
- ② 研究項目：“航空機観測によってエアロゾル前駆物質、エアロゾル、雲核、雲粒子、および放射場の関係を調査する”

アクティブセンサーグループ

- ① 研究分担グループ長：熊谷 博（情報通信研究機構電磁波計測部門、研究主管）
- ② 研究項目：“雲レーダーとライダーによってエアロゾルと雲の鉛直方向の物理構造を調査する”

地上観測グループ

- ① 研究分担グループ長：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）
- ② 研究項目：“地上におけるエアロゾル前駆物質、エアロゾル、雲、放射場の連続観測を行い、これらの場の関係を調査する”

衛星リモートセンシンググループ

- ① 研究分担グループ長：中島 孝（宇宙航空研究開発機構、副主任開発部員）
- ② 研究項目：“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

- ① 研究分担グループ長：鶴野 伊津志（九州大学応用力学研究所、教授）
- ② 研究項目：“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”

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

(1) 論文（原著論文）発表

- 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.*, submitted.
- Katagiri, S., and T. Nakajima, 2004: Radiative characteristics of cirrus clouds as retrieved from AVHRR. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 81-99.
- Kuji, M., T. Nakajima, and S. Mukai, 2003: Retrieval of cloud geometrical properties using satellite remote sensing data. SPIE, Barcelona, Spain, **5235**, 15-24.

- 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).
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

- 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.
- Ishizaka, Y and M. Adhikari, Composition of cloud condensation nuclei, Journ. Geophys. Res., 108, D4, 4138 (AAC 2-1`2-16), 2003D
- 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.
- 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, Submitted to Journ. Geophys. Res., 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-, Submitted to Atmospheric Research, 2004.
- Hasegawa, S., and S. Ohta : Some measurements of the mixing state of soot-containing particles at urban and non-urban sites, Atmospheric Environment, Vol.36, pp.3899-3908, 2002.
- Hasegawa, S., S. Ohta, N. Murao and S. Yamagata : Measurements of optical and chemical properties of aerosols for estimates of atmospheric turbidity over the East China Sea by satellite data, Journal of Global Environment Engineering, Vol.8, pp.1-15, 2002.
- Fugitani, Y., S. Ohta, T. Endo, N. Murano and S. Yamagata : Measurement of optical and chemical properties of atmospheric aerosols over the Western Pacific Ocean, Journal of Global Environment Engineering, Vol.8, pp.17-33, 2002.
- Hori, M., S. Ohta, N. Murao and S. Yamagata : Activation capability of water soluble organic substances as CCN, Journal of Aerosol Science, Vol.34, p.p419-448, 2003.
- Myhre, G., F. Stordal, M. Johnstrud, A. Ignatov, M. I. Mishchenko, I. V. Geogdzhayev, D. Tanr J. L. Deuz P. Goloub, T. Nakajima, **A. Higurashi**, O. Torres, B. N. Holben, 2004: Intercomparison of satellite retrieved aerosol optical depth over ocean. *J. Atmos. Sci.*, **61**, 499-513. (accepted 29 November 2003)
- Zhang, M.-G., I.Uno, Z. Wang, H. Akimoto, G.R. Carmichael, Y. Tang, J.H. Woo and others: Large-scale Structure of trace gas and aerosols distributions

- over the western Pacific Ocean during the TRACE-P, *J. Geophys. Res.*, 108(D21), 8820, doi:10.1029/2002JD002946, 2003.
- Uno, I., G. R. Carmichael, D. Streets, S. Satake, T. Takemura, J.H. Woo, M. Uematsu and S. 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.
 - 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*, 367-380, 2004.
 - Y. Tang, G. R. Carmichael, J-H Woo, N. Thongboonchoo, G. Kurata, I. Uno, D. G. Street, D. R. Blake, R. J. Weber, R. W. Talbot, Y. Kondo and H. B. Singh: The Influences of Biomass Burning during TRACE-P Experiment Identified by the Regional Chemical Transport Model, *J. Geophys. Res.*, 108(D21), 8824, doi:10.1029/2002JD003110, 2003.
 - Murayama, T., Masonis, S.J., Redemann, J., Anderson, T.L., Schmid, B., Livingston, J.M., Russell, P.B., Huebert, B., Howell, S.G., McNaughton, C.S., Clarke, A., Abo, M., Shimizu, A., Sugimoto, N., Yabuki, M., Kuze, H., Fukagawa, S., Maxwell, K.L., Weber, R.J., Orsini, D.A., Blomquist, B., Bandy, A., Thornton, D. (2003): 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.
 - 村山利幸, 2003: ライダー観測によるエアロゾル鉛直分布と光学特性, 月刊海洋, Vol.36, No.2, pp.114-120.
 - 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:10.1029/2002JD00 3250.
 - Nieke, J., Hori, M., Hoeller, R., Asanuma, I., 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.*
 - Hoeller, R., Nieke, J., Asanuma, I., Hori, M., Murakami, H., and Aoki, T., 2003. GLI vicarious calibration using selected ocean and snow ground sites. *Proc. SPIE*, 4892, 618-626.
 - Yabe, T., Hoeller, R., Tohno, S, and Kasahara M., 2003. An aerosol

- climatology at Kyoto: Observed local radiative forcing and columnar optical properties. *J. Applied Meteor.*, 42, 6, 841-850.
- Mukai, S., I.Sano, Y.Okada and M.Satoh, "Relationship between atmospheric hydrologic substances and aerosol column number", SPIE, vol.5235, pp.559-566, 2003.
 - Sano, I., "Aerosol properties over Japan by sun/sky photometry during APEX-E3", SPIE, vol.5235, pp.2-9, 2003.
 - Mukai, S., I. Sano and M.Yasumoto "Interrelation between aerosols, water vapor and clouds on a global scale" *Adv. Space Res.* vol32, no.11, pp.2181-2190, 2003.
 - Sano, I., S.Mukai, Y.Okada, B.Holben, S.Ohta and T.Takamura, "Optical properties of aerosols during APEX and ACE-Asia experiments", *J. Geophys Res.*, 108, No. 23, 8649, doi:10.1029/2002JD003263, 2003.
 - 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.
 - Okada, Y., S.Mukai and I.Sano, "Retrieval of aerosol amount and type over coastal turbid regions", *Proc. IEEE/IGARSS*, vol.6, pp.2179-2181, 2003.
 - Mukai, S., I.Sano and Y.Okada, "Validation on a global scale for an indirect effect of aerosols on radiation forcing" *A Proc. IEEE/IGARSS*, vol.6, pp.2176-2178, 2003.
 - Okada, Y., S.Mukai and I.Sano "Modified cloud flag for Sea WiFS data over turbid water region", *Geophys. Res.Lett.* 30, 1193, doi: 10,1029/2002GL015714, 2003.
 - 内山明博, 山崎明宏, 戸川裕樹, 浅野準一: APEX-E1, E2の航空機で観測したエアロゾルの湿度特性, 日本気象学会, 2003年度春季大会講演予稿集, 2003年5月
 - Uchiyama, A., A.Yamazaki, H.Togawa, J.Asano, APEX-E3 B200 MRI data, The APEX-RIHN Joint International Workshop@for Aersols and Clouds (6th APEX International Workshop), June 25-27, 2003.
 - 山崎明宏, 内山明博, 戸川裕樹, 浅野準一, ADEC-IOP2, APEX-E3でのスカイラジオメータ観測, 日本気象学会, 2003年度秋季大会講演予稿集, 2003年10月
 - Togawa, H., A.Uchiyama, A. Yamazaki, J. Asano, Ground-based Measurements of Optical Properties of Atmospheric Aerosol in Tsukuba and Miyako-Island, Meteorological Research Institute, KMA, Ministry of Environment, Proceedings of the 3rd Workshop on Aeolian Dust Experiment on Climate Impact, 28-31 January 2004, Seogwipo KAL Hotel, Jejudo, Korea.
 - Takami, A., N. Shiratori, H. Yonekura, and S. Hatakeyama: "Measurement of

Hydroperoxides and Ozone in Oku-Nikko Area” *Atmos. Environ.*, **37**, 3861-3872 (2003). (Accepted May 7, 2003)

- Nagatani, I., F. Sakamaki, K. Sato, S. Hatakeyama, K. Nakagawa, and T. Imamura: “Experimental studies of atmospheric photooxidation of 2-Methyl-3-Buten-2-01 using a 6-m³ Chamber with a Long Optical-Path FT-IR” *J. Jpn. Soc. Infrared Science & Technol.*, **13**, 73-78 (2003). (Accepted Sept. 17, 2003)
- Sato, K., B. Klotz, S. Hatakeyama, T. Imamura, Y. Washizu, Y. Matsumi, and N. Washida: “Secondary Organic Aerosol Formation during the Photo-Oxidation of Toluene: Dependence on Initial Hydrocarbon Concentration”, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **77**, 667-671 (2004). (Accepted Aug. 11, 2003)
- Imamura, I., Y. Iida, I. P. Klotz, S. Hatakeyama, and K. Nakagawa: “Rate Coefficients for the Gas-Phase Reactions of OH Radicals with Methylbutenols at 298K ”, *Int. J. Chem. Kinet.*, in press. (Accepted Feb. 11, 2004)
- 畠山史郎, 片平菊野、高見昭憲、菅田誠治、劉發華、北和之： 奥日光山岳域における夏季および秋季のオゾン濃度変動、大気環境学会誌、印刷中 (2004年3月15日受理)
- 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.*, in press. (Accepted March 19, 2004)
- Liu, M., D. L. Westphal, S. Wang, A. Shimizu, N. Sugimoto, J. Zhou, and Y. Chen (2003), A highresolution 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:10.1019/2002GL016349.
- 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, 杉本信男： 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).

(2) 特許出願

H15年度特許出願件数：0件 (CREST研究期間累積件数：1件)