

大気放射学とそれに関わる気候・環境科学の推進

—2014年度藤原賞受賞記念講演—

中 島 映 至*

このたびは日本気象学会藤原賞を頂き、ありがとうございました。私の研究の出発点は、恩師である田中正之教授によって与えられた人工衛星による海色リモートセンシングの問題でした。この問題では、地球大気・海面・海洋の中を太陽放射が伝達する問題を解く必要がありますが、当時は実用的な手法として、モンテカルロ法による統計的な計算手法しか開発されていませんでした。私は、精度が高く高速計算が可能なマトリックス・オペレータ法で使われる透過行列を正方向列から長方向列に拡張すれば、大気海洋結合系の問題にも適用できることに気がついて、その定式化を最初に行うことができました。その結果、大気エアロゾルや海洋マイクロゾルの特性によって海面直上や大気上端での放射フラックスがどのように変化するかについて新しい知見を得ました (Tanaka and Nakajima 1977; Nakajima and Tanaka 1983)。

並行して、当時1年先輩だった高村民雄元千葉大学教授が開発していたポーラーネフロメータのデータの理論解析を手伝いました。ポーラーネフロメータはレーザを光源として、エアロゾルの微分散乱断面積（散乱位相関数と呼ぶ）を測定する測器で、そのデータ解析には粒子系の光散乱問題を解く必要があります。この問題において、私はミー散乱理論によってエアロゾルの粒径分布と複素屈折率を同時推定する新しい逆推計アルゴリズムを思いつきました (Tanaka *et al.* 1982, 1983)。その後、この問題を太陽を光源とした

太陽周辺光の観測に応用することによって、気柱当たりのエアロゾルの光学的厚さと粒径分布を導出することもできました (Nakajima *et al.* 1983; Tanaka *et al.* 1986)。開発されたオリオールメータと呼ばれる天空輝度計は、現在ではNASAのAERONET サン・スカイ・ホトメータ網や我が国のSKYNET スカイラジオメータ網に発達して、全球観測網を形成しています (Holben *et al.* 1998; Nakajima *et al.* 1996, 2007; Hashimoto *et al.* 2012)。

スカイラジオメータのデータ解析は、エアロゾルによる太陽放射の放射伝達を多数回、実行しなければならないために、当時の大型計算機でも困難でした。そこで、さらに高速の放射輝度計算手法を求めて、放射伝達方程式の積分形式における固有値問題を解くディスクリット・オーディネート法 (DOM法) について研究しました。当時知られていた解法には、固有値計算時に不安定性が伴っていたので、その定式化を見直して、対称行列の固有値問題に帰着する新しい定式化に成功しました (Nakajima and Tanaka 1986)。この論文執筆中に、これより先に Stamnes and Swanson (1981) が安定な解を提案している事を図書館で見つけてあせりましたが、彼らの定式化は非対称行列によるもので、その計算には複素数計算が必要でしたので、自分の論文を出版することができました。しかし、太陽周辺光の角度分布を精度よく計算するにはこれだけでは不十分で、エアロゾル粒子の強い前方散乱を表現するために非常に多くの光路が必要である問題を解決しなければなりません。そこで私は、散乱位相関数の前方部分を緩やかな関数で置きかえる切断法についての新しい定式化と2次散乱までの補正法を開発して、DOM法に組み込みました (Nakajima and Tanaka 1988)。これによって、最終的には従来法に比べて計算速度を10倍以上効率化することに成功

* 東京大学大気海洋研究所（現：宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター）、
terry-nkj@nifty.com

—2015年4月29日受領—

—2015年5月22日受理—

しました。現在では計算機の発達に伴い、人工衛星によるリモートセンシングにおいても参照テーブルに頼ることなく、放射伝達を毎回解く逆推計解法が主流になってきましたので、本切断法が世界で広く利用され始めました。そのため、この論文は JQSRT 誌歴史的論文賞 (Elsevier 出版社) を受賞しました。

これらの研究において開発された一連の放射伝達コードは、現在、Star 放射コード系として整備され、世界の多くのユーザによって利用されています。特に、AERONET や SKYNET といった天空輝度観測網のデータ解析や、衛星観測データの解析 (Nakajima *et al.* 2009) に利用されています。

1987年からの3年間は NASA へ留学しましたが、上記のような地上放射観測の経験があったので、これを契機に、航空機や人工衛星によるエアロゾルと雲の微物理特性の解析アルゴリズムの開発に着手することができました。まず、天空輝度解析の直接的な応用として、NOAA 衛星搭載 AVHRR センサーから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 (Nakajima and Higurashi 1998; Higurashi and Nakajima 1999; Higurashi *et al.* 2000) の導出に成功しました。そのほかにも4波長を利用したエアロゾル種の分類 (Higurashi and Nakajima 2002) や GOSAT 衛星搭載 CAI センサーに搭載された380 nm 近紫外バンドを利用した陸域エアロゾルの導出などができました (Fukuda *et al.* 2013)。一方で、時間的にはこちらの方が先ですが、人工衛星の短波長赤外の2波長から雲の光学的厚さと有効粒子半径の全球分布を得るアルゴリズムの開発を進めました (Nakajima and King 1990; Nakajima *et al.* 1991; Nakajima and Nakajima 1995; Kawamoto *et al.* 2001)。

以上の研究によって1年分のエアロゾルと雲の微物理特性を全球で得ることができたのは2000年前後でしたが、当時この2種類のデータを持っていたのは私のグループだけだったと思います。そのために、エアロゾルの雲への間接気候影響の大きさが -1.7 Wm^{-2} から -0.7 Wm^{-2} の範囲にあることを人工衛星による全球解析によって世界に先がけて提案することができました (Nakajima *et al.* 2001; Sekiguchi *et al.* 2003)。またこの研究の中で、エアロゾルの光学的厚さとオングストローム指数の積 (現在ではエアロゾルインデックス AI と呼ばれている) がエアロゾルの気柱数密度の良い指標であることを示すことができました。

帰国後の1991年に東大気候システム研究センターの設立に立ち会わせていただいたことも、その後の研究の展開にとって大きかったと思います。当時、MIROC 気候モデル (Numaguti *et al.* 1995) の開発には、温室効果や日傘効果、放射強制力といった気候研究に不可欠な放射量の計算が必要でした。そこで、力学計算用の高速放射フラックス計算コード Mstrn を開発しました (Nakajima *et al.* 2000; Sekiguchi and Nakajima 2008)。このような放射計算では、幅広い波長域における太陽放射や地球放射の波長積分エネルギーフラックスの算定が必要です。そのために従来は、大気組成気体が持つ多数の量子光吸収線を効率良く取り扱える相関 k 分布法が使われていましたが、複数の気体の吸収が重なる効果の取り扱いにおいて、計算時間がかかっていました。そこで、さらに高速化を図るために、非線形最適化 k 分布法を確立しました。現在では、Mstrn は MIROC 気候モデル・20面体非静力大気モデル NICAM (Satoh *et al.* 2008; Tomita and Satoh 2004)・雲解像ストームシミュレータ CReSS (Tsuboki and Sakakibara 2002) などに組み込まれています。

気候モデル開発におけるもうひとつの貢献として、それまで研究してきたエアロゾルと雲の微物理特性の取り込みを可能にする、全球3次元エアロゾル輸送・放射モデル SPRINTARS の開発をリードしました (Takemura *et al.* 2000, 2002; Goto *et al.* 2011)。これができれば、本グループが持っていた衛星観測データと直接比較ができるという目論見もありました。しかし当時は、エアロゾルの気候影響の重要性はあまり知られておらず、何を始めたのだと思った方々も少なくなかったと思います。現在では、SPRINTARS は MIROC・NICAM に組み込まれており、様々な気候研究が生まれています。例えば、エアロゾルの雲場と降水場への気候影響研究 (Takemura *et al.* 2007; Mukai *et al.* 2008; Mukai and Nakajima 2009) や、全球7 km 格子の NICAM-SPRINTARS による数値実験 (Suzuki *et al.* 2008) などが世界で初めて行われました。

現在ではこの方向の研究はさらに発展して、MIROC-SPRINTARS を用いたエアロゾルのデータ同化手法が開発されています (Schutgens *et al.* 2010 a, b, 2012)。さらに、SPRINTARS と CHASER (Sudo *et al.* 2002a, b) の NICAM への組み込みと、大気組成の同化・逆推計システムの構築が行われてい

ます (Dai *et al.* 2014 ; Goto *et al.* 2015).

今後、人工衛星や地上測器による地球観測とモデリングはさらに発達して行くと思います。例えば、高性能の衛星搭載多波長イメージャー、降雨レーダ、雲レーダ、ライダーが運用されるようになり、エアロゾル・雲・降雨に関わる詳細な微物理量が全球スケールで測定可能になってきました。そこで、気象研究所非静力学大気モデルNHM (齊藤・加藤 1999) にビン・スペクトル型雲粒子モデルを組み込むことによって、エアロゾルが雲場を変える間接気候効果や下層雲のライフサイクルにおよぼす力学過程の評価などが行われました (Suzuki *et al.* 2006, 2010a, b ; Iguchi *et al.* 2012 ; Sato *et al.* 2012a, b ; Choi *et al.* 2013)。また、NICAM に 2 モーメントバルク型雲粒子モデルが組み込まれて、雲システムの局地観測データの解析も行われました (Seiki and Nakajima 2014 ; Seiki *et al.* 2014)。さらに、静止衛星ひまわりのデータを利用した太陽光発電量の見積もり (竹中ほか 2011 ; 中島ほか 2013) や、福島第一原発事故における放射性物質の環境汚染問題への応用 (Tsuruta *et al.* 2014) などが行われています。

振り返ってみると、様々な研究をやってきたものです。おもちゃ箱状態のように見えます。ただ、全体を眺めてみると大気粒子と地球系の相互作用の側面について、ひとつの統合した景色が見えてきたかと思っています。プロジェクト型の研究が多い現在の状況の中で、大学人として身の丈の研究を大切にしてきましたが、それがひとつの波及効果を生み出す事ができたとしたら、それはこれまで一緒に研究をしてきた学生諸君、同僚、そして共同研究者のみなさまのおかげだと思っています。この場を借りて、みなさんに感謝します。

参 考 文 献

- Choi, I.-J., T. Iguchi, S.-W. Kim, T. Nakajima and S.-C. Yoon, 2013: The effect of aerosol representation on cloud microphysical properties in Northeast Asia. *Meteor. Atmos. Phys.*, **123**, 181-194.
- Dai, T., N.A.J. Schutgens, D. Goto, G.-Y. Shi and T. Nakajima, 2014: Improvement of aerosol optical properties modeling over Eastern Asia with MODIS AOD assimilation in a global non-hydrostatic icosahedral aerosol transport model. *Environ. Pollut.*, **195**, 319-329.
- Fukuda, S., T. Nakajima, H. Takenaka, A. Higurashi, N. Kikuchi, T.Y. Nakajima and H. Ishida, 2013: New approaches to removing cloud shadows and evaluating the 380-nm surface reflectance for improved aerosol optical thickness retrievals from the GOSAT/TANSO-Cloud and Aerosol Imager. *J. Geophys. Res.*, **118**, 13520-13531.
- Goto, D., T. Takemura, T. Nakajima and K.V.S. Badarinarath, 2011: Global aerosol model-derived black carbon concentration and single scattering albedo over Indian region and its comparison with ground observations. *Atmos. Environ.*, **45**, 3277-3285.
- Goto, D., T. Dai, M. Satoh, H. Tomita, J. Uchida, S. Misawa, T. Inoue, H. Tsuruta, K. Ueda, C. F. S. Ng, A. Takami, N. Sugimoto, A. Shimizu, T. Ohara and T. Nakajima, 2015: Application of a global nonhydrostatic model with a stretched-grid system to regional aerosol simulations around Japan. *Geosci. Model Dev.*, **8**, 235-259.
- Hashimoto, M., T. Nakajima, O. Dubovik, M. Campanelli, H. Che, P. Khatri, T. Takamura and G. Pandithurai, 2012: Development of a new data-processing method for SKYNET sky radiometer observations. *Atmos. Meas. Tech.*, **5**, 2723-2737.
- Higurashi, A. and T. Nakajima, 1999: Development of a two channel aerosol retrieval algorithm on a global scale using NOAA AVHRR. *J. Atmos. Sci.*, **56**, 924-941.
- 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**, 1836, doi:10.1029/2002GL015357.
- 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.
- Holben, B. N., T. F. Eck, I. Slutsker, D. Tanré, J. P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J. A. Reagan, Y. J. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenue, I. Jankowiak and A. Smirnov, 1998: AERONET — A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. *Remote Sens. Environ.*, **66**, 1-16.
- Iguchi, T., T. Nakajima, A. P. Khain, K. Saito, T. Takemura, H. Okamoto, T. Nishizawa and W. K. Tao, 2012: Evaluation of cloud microphysics in JMA-NHM simulations using bin or bulk microphysical schemes through comparison with cloud radar observations. *J. Atmos. Sci.*, **69**, 2566-2586.
- Kawamoto, K., T. Nakajima and T.Y. Nakajima, 2001: A global determination of cloud microphysics with

- AVHRR remote sensing. *J. Climate*, **14**, 2054-2068.
- Mukai, M. and T. Nakajima, 2009: Potentiality of aerosols in changing the precipitation field in Asia. *SOLA*, **5**, 97-100.
- Mukai, M., T. Nakajima and T. Takemura, 2008: A study of anthropogenic impacts of the radiation budget and the cloud field in East Asia based on model simulations with GCM. *J. Geophys. Res.*, **113**, D12211, doi:10.1029/2007/JD009325.
- Nakajima, T.Y. and T. Nakajima, 1995: Wide-area determination of cloud microphysical properties from NOAA AVHRR measurements for FIRE and ASTEX regions. *J. Atmos. Sci.*, **52**, 4043-4059.
- 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. and M. D. King, 1990: Determination of the optical thickness and effective radius of clouds from reflected solar radiation measurements. Part I: Theory. *J. Atmos. Sci.*, **47**, 1878-1893.
- Nakajima, T. and M. Tanaka, 1983: Effect of wind-generated waves on the transfer of solar radiation in the atmosphere-ocean system. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, **29**, 521-537.
- Nakajima, T. and M. Tanaka, 1986: Matrix formulations for the transfer of solar radiation in a plane-parallel scattering atmosphere. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, **35**, 13-21.
- Nakajima, T. and M. Tanaka, 1988: Algorithms for radiative intensity calculations in moderately thick atmospheres using a truncation approximation. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, **40**, 51-69.
- Nakajima, T., M. Tanaka and T. Yamauchi, 1983: Retrieval of the optical properties of aerosols from aureole and extinction data. *Appl. Opt.*, **22**, 2951-2959.
- Nakajima, T., M. D. King, J. D. Spinhirne and L. F. Radke, 1991: Determination of the optical thickness and effective radius of clouds from reflected solar radiation measurements. Part II: Marine stratocumulus observations. *J. Atmos. Sci.*, **48**, 728-750.
- 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.
- 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.
- 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., S.-C. Yoon, V. Ramanathan, G.-Y. Shi, T. Takemura, A. Higurashi, T. Takamura, K. Aoki, B.-J. Sohn, S.-W. Kim, H. Tsuruta, N. Sugimoto, A. Shimizu, H. Tanimoto, Y. Sawa, N.-H. Lin, C.-T. Lee, D. Goto and N. Schutgens, 2007: Overview of the Atmospheric Brown Cloud East Asian Regional Experiment 2005 and a study of the aerosol direct radiative forcing in east Asia. *J. Geophys. Res.*, **112**, D24S91, doi:10.1029/2007JD009009.
- Nakajima, T., H. Murakami, M. Hori, T.Y. Nakajima, H. Yamamoto, J. Ishizaka, R. Tateishi, T. Aoki, T. Takamura, M. Kuji, D. D. Nguyen, A. Ono, S. Fukuda and K. Muramatsu, 2009: Overview and science highlights of the ADEOS-II/GLI project. *J. Remote Sens. Soc. Japan*, **29**, 11-28.
- 中島映至, 竹中栄晶, 五藤大輔, 三澤翔大, 打田純也, 中島孝, 2013: 太陽放射収支の観測とモデリング. *シミュレーション*, **32**, 199-207.
- Numaguti, A., M. Takahashi, T. Nakajima and A. Sumi, 1995: Development of an atmospheric general circulation model. *Climate System Dynamics and Modeling*, Ed. T. Matsuno, Center for Climate System Research, University of Tokyo, 1-27.
- 斉藤和雄, 加藤輝之, 1999: 気象研究所非静力学メソスケールモデル. *気象研究ノート*, (196), 169-195.
- Sato, Y., K. Suzuki, T. Iguchi, I.-J. Choi, H. Kadowaki, and T. Nakajima, 2012a: Characteristics of correlation statistics between droplet radius and optical thickness of warm clouds simulated by a three-dimensional regional-scale spectral bin microphysics cloud model. *J. Atmos. Sci.*, **69**, 484-503.
- Sato, Y., T.Y. Nakajima and T. Nakajima, 2012b: Investigation of the vertical structure of warm-cloud microphysical properties using the Cloud Evolution Diagram, CFODD, simulated by a three dimensional spectral bin microphysical model. *J. Atmos. Sci.*, **69**, 2012-2030.
- Satoh, M., T. Matsuno, H. Tomita, H. Miura, T. Nasuno, and S. Iga, 2008: Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM) for global cloud resolving simulations. *J. Comput. Phys.*, **227**, 3486-3514.
- Schutgens, N. A. J., T. Miyoshi, T. Takemura and T. Nakajima, 2010a: Applying an ensemble Kalman filter to the assimilation of AERONET observations in a global aerosol transport model. *Atmos. Chem.*

- Phys., **10**, 2561-2576.
- Schutgens, N. A. J., T. Miyoshi, T. Takemura, and T. Nakajima, 2010b: Sensitivity tests for an ensemble Kalman filter for aerosol assimilation. *Atmos. Chem. Phys.*, **10**, 6583-6600.
- Schutgens, N., M. Nakata and T. Nakajima, 2012: Estimating aerosol emissions by assimilating remote sensing observations into a global transport model. *Remote Sens.*, **4**, 3528-3543.
- Seiki, T. and T. Nakajima, 2014: Aerosol effects of the condensation process on a convective cloud simulation. *J. Atmos. Sci.*, **71**, 833-853.
- Seiki, T., M. Satoh, H. Tomita and T. Nakajima, 2014: Simultaneous evaluation of ice cloud microphysics and nonsphericity of the cloud optical properties using hydrometeor video sonde and radiometer sonde in situ observations. *J. Geophys. Res.*, **119**, 6681-6701.
- Sekiguchi, M. and T. Nakajima, 2008: A *k*-distribution-based radiation code and its computational optimization for an atmospheric general circulation model. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, **109**, 2779-2793.
- 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 data sets of aerosol and cloud parameters. *J. Geophys. Res.*, **108**, 4699, doi: 10.1029/2002JD003359.
- Stamnes, K. and R. A. Swanson, 1981: A new look at the discrete ordinate method for radiative transfer calculations in anisotropically scattering atmospheres. *J. Atmos. Sci.*, **38**, 387-389.
- Sudo, K., M. Takahashi, J. Kurokawa and H. Akimoto, 2002a: CHASER: A global chemical model of the troposphere 1. Model description. *J. Geophys. Res.*, **107**, 4339, doi:10.1029/2001JD001113.
- Sudo, K., M. Takahashi and H. Akimoto, 2002b: CHASER: A global chemical model of the troposphere 2. Model results and evaluation. *J. Geophys. Res.*, **107**, 4586, doi:10.1029/2001/JD001114.
- Suzuki, K., T. Nakajima, T.Y. Nakajima and A. Khain, 2006: Correlation pattern between effective radius and optical thickness of water clouds simulated by a spectral bin microphysics cloud model. *SOLA*, **2**, 116-119.
- Suzuki, K., T. Nakajima, M. Satoh, H. Tomita, T. Takemura, T.Y. Nakajima and G.L. Stephens, 2008: Global cloud-system-resolving simulation of aerosol effect on warm clouds. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L19817, doi:10.1029/2008GL035449.
- Suzuki, K., T. Nakajima, T.Y. Nakajima and G.L. Stephens, 2010a: Effect of the droplet activation process on microphysical properties of warm clouds. *Environ. Res. Lett.*, **5**, 024012, doi:10.1088/1748-9326/5/2/024012.
- Suzuki, K., T. Nakajima, T.Y. Nakajima and A.P. Khain, 2010b: A study of microphysical mechanisms for correlation patterns between droplet radius and optical thickness of warm clouds with a spectral bin microphysics cloud model. *J. Atmos. Sci.*, **67**, 1126-1141.
- 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, 2002: Single scattering albedo and radiative forcing of various aerosol species with a global three-dimensional model. *J. Climate*, **15**, 333-352.
- Takemura, T., Y.J. Kaufman, L.A. Remer and T. Nakajima, 2007: Two competing pathways of aerosol effects on cloud and precipitation formation. *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L04802, doi:10.1029/2006GL028349.
- 竹中栄晶, 中島 孝, 久世宏明, 高村民雄, 中島映至, 2011: ひまわり7号がとらえた東日本大震災直後の東北関東地方. *日本リモートセンシング学会誌*, **31**, 338-343.
- Tanaka, M. and T. Nakajima, 1977: Effects of oceanic turbidity and index of refraction of hydrosols on the flux of solar radiation in the atmosphere-ocean system. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, **18**, 93-111.
- Tanaka, M., T. Nakajima and T. Takamura, 1982: Simultaneous determination of complex refractive index and size distribution of airborne and water-suspended particles from light scattering measurements. *J. Meteor. Soc. Japan*, **60**, 1259-1272.
- Tanaka, M., T. Takamura and T. Nakajima, 1983: Refractive index and size distribution of aerosols as estimated from light scattering measurements. *J. Climate Appl. Meteor.*, **22**, 1253-1261.
- Tanaka, M., T. Nakajima and M. Shiobara, 1986: Calibration of a sunphotometer by simultaneous measurements of direct-solar and circumsolar radiations. *Appl. Opt.*, **25**, 1170-1176.
- Tomita, H. and M. Satoh, 2004: A new dynamical framework of nonhydrostatic global model using the

- icosahedral grid. *Fluid Dyn. Res.*, **34**, 357–400.
- Tsuboki, K. and A. Sakakibara, 2002: Large-scale parallel computing of Cloud Resolving Storm Simulator. in *High Performance Computing*, Springer, H. P. Zima, K. Joe, M. Sato, Y. Seo and M. Shimasaki (Eds), 243–259.
- Tsuruta, H., Y. Oura, M. Ebihara, T. Ohara and T. Nakajima, 2014: First retrieval of hourly atmospheric radionuclides just after the Fukushima accident by analyzing filter-tapes of operational air pollution monitoring stations. *Sci. Rep.*, **4**, 6717, doi:10.1038/srep06717.

Promotion of the Atmospheric Radiation Study and Related Climate and Environmental Research

Teruyuki NAKAJIMA*

* *Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo (Present affiliation: Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency).*

Email: terry-nkj@nifty.com

(Received 29 April 2015; Accepted 22 May 2015)
