

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 17 日現在

機関番号：82109

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2012～2016

課題番号：24110003

研究課題名（和文）放射性物質の大気沈着・拡散過程および陸面相互作用の理解

研究課題名（英文）Understanding of the atmospheric deposition, diffusion processes and land atmospheric interaction of radioactive materials

研究代表者

五十嵐 康人（Igarashi, Yasuhito）

気象庁気象研究所・環境・応用気象研究部・室長

研究者番号：90343897

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 122,300,000円

研究成果の概要（和文）：初期の放射性Cs放出には従来想定されていた水溶性サブミクロン粒子に加え、直径数 $\mu\text{m}$ の不溶性粗大球状粒子が存在することを初めて明らかにした。典型的な里山では再飛散由来のCs濃度は、都市部での結果と異なり、夏季に上昇し、冬季には低かった。夏季のCs担体は大部分が生物由来であることを初めて見出した。放射性Csの再飛散簡略スキームを開発し、領域エアロゾル輸送モデルを用いて森林生態系からの生物学的粒子による再飛散、ならびに事故サイトから継続する一次漏えいも含め、フラックス定量化・収支解析を行った。その結果、他のプロセス同様、再飛散は、地表に沈着したCsの減少や移動にほとんど寄与しないことがわかった。

研究成果の概要（英文）：Initial radioactive Cs release revealed for the first time that insoluble coarse spherical particles with a diameter of several  $\mu\text{m}$  existed in addition to the water-soluble submicron particles usually assumed. In typical Satoyama area, the Cs concentration derived from resuspension escalated in the summer and was low in the winter, unlike in urban areas. We discovered for the first time that Cs carrier in summer is mostly of biological. We developed a simplified scheme for resuspension of radioactive Cs, and we carried out flux quantification - budget calculation, including resuspension by biological particles from forest ecosystems using a regional aerosol transport model, and primary leakage continued from the accident site. As a result, similarly to other processes, it was found that resuspension contributes little to decrease and migration of Cs deposited on the earth's surface.

研究分野：大気エアロゾル、環境放射能、地球化学

キーワード：環境放射能 環境質定量化・予測 大気現象 環境変動 地球化学 福島第一原発事故 環境・生体影響 陸域生態圏

## 1. 研究開始当初の背景

福島第一原発事故により大気環境へ放出された人工放射性核種の森林をはじめとする陸域への沈着と、その後の相互作用を理解し環境や人体への影響を正しく評価するためには、放射性核種のごく一般的なモニタリングや空間線量率モニタリングだけでは不十分で、その物理・化学性状や再浮遊(汚染地表面からの二次放出)のプロセスの理解等が必要であった。そのため、大気物理、大気化学、環境放射能、同位体地球化学、エアロゾルモデルの専門家からなる研究班が求められた。本研究班ではこのニーズに応え観測とモデル開発・再現計算を基本として、大気モデル班をはじめとする他計画班等と有機的な連携を得て、取り組みを進めることとなった。

## 2. 研究の目的

A01-2 計画研究「放射性物質の大気沈着・拡散過程および陸面相互作用の理解」班では主に3つの目的を設定し研究を遂行した。

(1) 物質質量としてはわずかな放射性核種は、希ガス、ヨウ素を除き単体で浮遊するものはかなり少なく、放出過程においてさまざまな担体(キャリアとなるエアロゾル)と内部混合したと推測される。そこで、福島事故により大気中に放出されたそれぞれの放射性核種がどのような物理・化学性状で大気中を浮遊しているか、およびその成因を理解する(一次放出)。

(2) 精力的な観測や調査にも関わらず、放射性物質による環境汚染の全体像を合理的かつ定量的に把握することはなかなか困難で、既存のシミュレーションモデルの多くはホットスポットの正確な再現には成功していない。そこで、広域的な放射性物質濃度の時間・空間的変動調査や沈着物の測定を通じ、最新のモデル手法を適用し、大気輸送・拡散モデルの精度向上と、それをを用いた事故放出量の推定に寄与する。

(3) 過去の大気圏核実験やチェルノブイリ事故などの環境汚染の経験から、一度地表面を汚染した放射性物質は何らかのエアロゾルに担われる、ないしは汚染物の燃焼によって大気中へ再度放出されることが知られている。しかし、その主要なプロセスは必ずしも明確ではない。そこで、陸域(土壌・生態系を含む)への沈着と大気中への放射性核種の再飛散量、その物理・化学形状および放出源(二次放出)を理解し、大気 陸面相互作用を定量化する。

これらを通じて、放射性物質の大気 陸域水圏の移行モデルの確立や、各地での呼吸による内部被ばく量の推定の基礎データにも寄与することを目指すとともに、人体の内部被ばくに係わる大気放射能の情報を社会に提供し、国民の安全・安心の確保に資する。

## 3. 研究の方法

環境や健康影響を考えるうえで大気科学の観点からまず重要なことは、放出、輸送・

拡散、沈着に関し、量的な関係を把握することである。そのためには、観測・モデルそれぞれ一辺倒ではなく有機的に相互を連携させ、かつ未知のプロセスもあり得ることから、主要なプロセスがどのようなものであるかを解明し、同時にモデルの精度向上を図りつつ再現計算を進めることが肝要である。従って、モデル自体の検証や改良、高精度化も輸送・拡散・沈着の再現計算にとって極めて重要であり、こうした観点から当 A01-2 班では A01-1 大気モデル班をはじめとして他の計画研究班と緊密に連携し、成果達成に努め、上述の3つの目的達成を目指した。

そこで本 A01-2 班では、環境放射能、同位体地球化学、分析化学、気象学、気象モデルの最新手法を融合させた総合的な調査研究手法・体制で研究を推進した。すなわち、

(1) 福島第一原子力発電所の周辺、特に放射性物質の沈着により空間線量の高くなっている地点で、継続的に大気エアロゾル及びガス状の放射性物質を捕集し、その濃度変動を明らかにする。

(2) 事故直後から捕集されてきた試料を(1)で収集した試料と併せて分析し、放射性核種の詳細、粒径分布・化学成分や同位体比率との相関など放射性物質の物理的・化学的性状を理解する。

(3) 上記汚染地域に観測フィールドを設定し、各種条件下での放射能濃度変化および土壌粒子やエアロゾルの飛散を気象要素・土壌水分などとの同時観測を行い、土壌からの放射性物質の再飛散プロセスを理解する。その際に最新の質量分析手法を応用し、大気エアロゾル粒子中の核種や元素を直接測定し、気象要素などとの関係を明確化する。

(4) スギなどの花粉、植物表面のワックス状物質などの飛散など、生態系から大気へと供給される放射性物質の物理・化学形態と放出フラックスの定量化を行う。

(5) 降水中の放射能濃度と大気中濃度との比較およびモデルとの比較により、現在仮定されている放射性物質の湿性沈着量の妥当性を検証する。

(6) 上記各活動で得られた結果とモデル計算を比較し、大気中での輸送・拡散・沈着過程の定量化の精度向上を図り、陸面との相互作用を定量化するため再飛散過程をモデル化する。

## 4. 研究成果

A01-2 班では、研究遂行の結果、下記のような顕著な成果を得た。

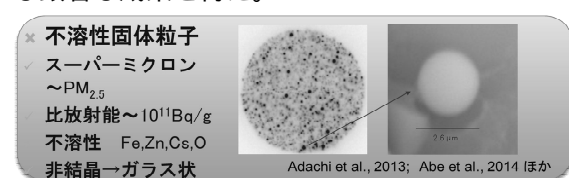


図1 本研究で見つかった不溶性球状Cs粒子の性状と電子顕微鏡像

1) 初期の放射性セシウム(Csと表記)放出

には従来想定されていた水溶性サブミクロン・サルフェートに担われた粒子に加え、直径数 $\mu\text{m}$ の不溶性粗大球状Cs粒子が存在することを初めて明らかにした(図1; Adachi et al., 2013)。球状Cs粒子は、主要な構成元素としてFe, Zn, Cs, O等を含み、その後のSPRING-8での $\mu$ ビームX線分析でBa, Te, Sn, Mo, Rb, U等の重元素をも含むこと(図2), 非晶質であること, 中重元素は高度に酸化された状態であること(Abe et al., 2014), 内部に構造を持つこと(Yamaguchi et al., 2016)や $\text{SiO}_2$ 主体であること等(Satou et al., 2016)を解明した。また球形状だけではなく、非球状の形状の粒子もあること(Satou et al., 2016), より粗大の粒子が事故サイト近傍では見られること(小野ほか, 2017)も示した。

2) 放射性物質濃度の時間・空間的変動や沈着量の変動を把握するため、福島県内を含め種々の大気試料を採取し主としてCsの測定を行った。研究期間中に5,000弱の試料測定を行った。エアロゾル粒径別個数濃度とCs濃度の集中観測と、摩擦速度(風応力)等気象観測のデータ比較により、放射性物質の再飛散簡略化スキーム(1D放射能飛散モデル)を開発した(Ishizuka et al., 2017)。領域エアロゾル輸送モデルを用い森林生態系からの生物学的粒子による放射性物質の再飛散も考慮して、再飛散フラックス、ならびに原発事故サイトから継続する一次漏えいも含め、フラックス定量化-収支解析を行った(Kajino et al., 2016)。その結果、他のプロセス同様、再飛散は、地表に沈着したCsの減少や移動にほとんど寄与しないことがわかった。

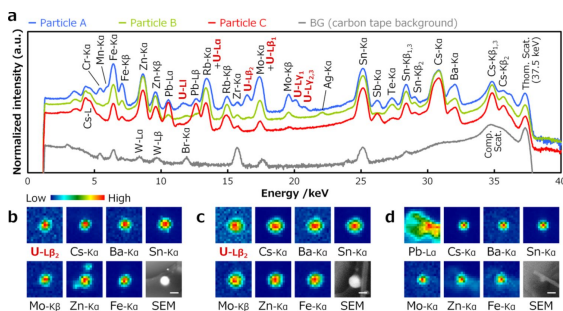


図2 不溶性Cs粒子の $\mu$ -XRF結果と電顕像

また、放射性Cs一次放出量のグローバル輸送モデルと逆解析による高精度推定(2011/3/11~4/19での総放出量 $19.5 \pm 3.6$  PBq; Maki et al., 2013), 輸送モデルの高空間分解能化への応答研究(Sekiyama et al., 2015), アンサンブル解析手法の導入など、放射性物質を含む化学輸送モデルの高精度化につながる斬新な研究を進めた。このほか、海洋へのCs輸送量・降水量の評価をグローバルエアロゾルモデルを用いて行い、Cs総放出量の70-80%が移行したと評価した(田中, 2013)。さらに海洋班A02-3班に協力し、グローバルおよび領域モデルの両者を用いて、 $^{137}\text{Cs}$ 北太平洋への沈着量を12-15 PBqと評価した(Aoyama M. et al., 2016)。

3) 茨城県つくば市での降水量や大気濃度の変動から、福島事故由来の放射性物質の再浮遊について定量的な議論を行った(Igarashi et al., 2015)。沈着直後の再飛散係数(沈着量に対する再飛散量率比)は、平均で $^{131}\text{I}$ について $5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ について $6 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ となった。また、一次放出と対流圏滞留半減期での減衰が終了した後、Cs月間降水量は約1.2年の見かけ半減期でゆっくり減少し、再浮遊成分が見られるようになった。再浮遊による月間降水量への寄与は、2015年の時点で、つくば市でも事故以前に比べ~3桁大きな値となっている(Igarashi et al., 2015)。

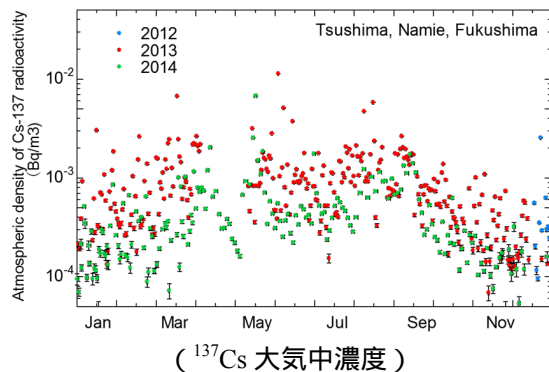


図3 福島県の制限区域内での観測結果

次いで、福島県内の汚染地域でCsの大気への再飛散を長期観測した結果、Cs濃度には季節変動があり、都市部での観測結果と異なり、典型的な里山である観測点では夏季にCs大気中濃度が上昇し、冬季には低かった(図3)。土壌由来の鉱物粒子が再飛散担体として重要な春季には、再飛散したCsの輸送スケールが1 km程度以下と局所的であり、夏季にはそりより大きなスケールで輸送・分布することがわかった(Kinase et al., 2017)。夏季のCs担体は、見た目や光学顕微鏡像からダストと思われたが、意外にも大部分が生物由来であることを見出した(図4, 5; Kinase et al., 2017; Igarashi et al., 2016EAC)。生物学的エアロゾル(バイオエアロゾル)によるCsの再飛散は、2)のモデル研究での成果(Kajino et al., 2016)と整合する。

4) そのほか、 $\text{SO}_4^{2-}$ はCsの主要担体と想定されることから、中性子放射化で炉内生成した $^{35}\text{S}$ の大気中での挙動を追跡(Priyadarshi et al., 2013)したり、大気中Cs濃度変動に数理科学的考察を加え、その減衰を予測する数式を導出したり(Aoyama, T. et al., 2017), など60報以上の原著論文の発表に寄与した。

5) 知見の発信とアウトリーチ活動

A01-2班での初期の成果は一般向けに、中島映至, 大原利真, 植松光夫, 恩田裕一編「原発事故環境汚染 福島第一原発事故の地球科学的側面」pp. 310, 東京大学出版会(2014)の中の個別の章で論述した。また、ISET-R全体のHPや日本科学技術未来館での展示に協力するなどして、知見の一般への発



信に努めた。また、NHKE テレビ、サイエンス・ゼロをはじめ、新聞各社等の取材にも対応した。

若手研修として A01-2 班では、「大気試料の採取と電顕観察」をテーマとして H25 年度から福島観測現地および気象研究所での研修を合わせて 5 回実施、合計で 15 名の若手研究者の参加を得た。この研修では大気試料のサンプリング手法、走査型電子顕微鏡による放射性エアロゾル等の探索・観察を行い、それらの手法に関する教育訓練を行った。

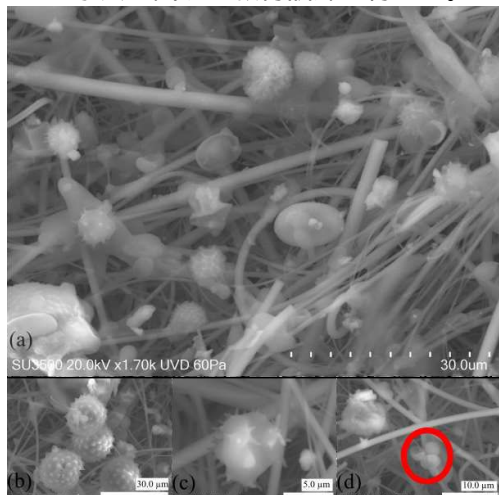


図4 図3の地点で夏季に採取されたフィルター試料の電顕写真。花粉、孢子、微生物等が多数見える。丸で囲ったのは微生物。

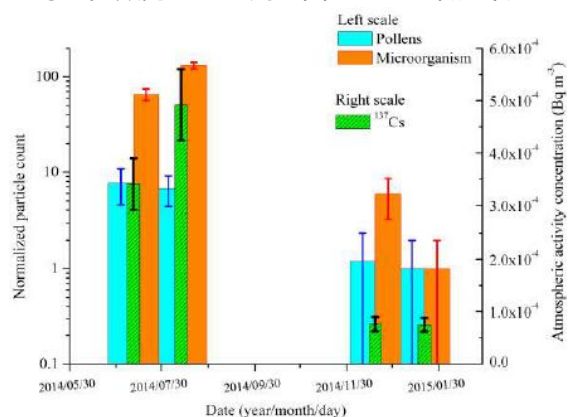


図5 図3の地点での大気中放射性 Cs 濃度と生物学的粒子濃度との季節変化

上記に加え若手研修の一環で新規性の高い企画として A01-2 班を中心として、H26 年 12 月から合計 4 回の「論文執筆研修」を実施した。研究の最終段階である学術雑誌への論文執筆を現役の研究者とともにデータを整理しつつ、文章の段階へと実地に進めてみる機会を作りだし、このことで若手研究者の実力のアップを図るとともに、ISET-R 領域研究の成果の拡大に務めることとし、研修は、気象研究所または筑波大学を会場として、指導側のべ 5 ~ 6 名ほどの参加を得つつ、3 ~ 4 日程度の期間、合宿方式で集中して実施した。

英文論文執筆を目標としたが、修士院生、学部 4 年生の場合は和文論文を目標とした。また、第 3 回には論文の書き方に関する著作

をもつ産総研の中田亨博士を招き、「研究の企画の立て方と論文の書き方」と題し筑波大リスク工学系と共催で講演会も開催した。いずれの研修も相当に好評で、参加者は延べで 30 名を超えた。参加者は無駄話も少なく、集中して執筆活動に従事していた。各参加者の卒論、修論、博士論文に加え、少なくとも 10 報の原著学術論文の投稿・掲載に寄与した。全体として、若手の論文取りまとめ能力の発展に寄与し、ISET-R 領域全体の若手研究者育成に寄与した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計 64 件)

小野貴大, 飯澤勇信, 阿部善也, 中井泉, 寺田靖子, 佐藤志彦, 末木啓介, 足立光司, 五十嵐康人, 福島第一原子力発電所事故により 1 号機から放出された放射性粒子の放射光マイクロビーム X 線分析を用いる化学性状の解明, 分析化学, 66 巻 4 号 (2017) 251 - 261 査読有

doi.org/10.2116/bunsekikagaku.66.251

金野俊太郎, 大河内博, 勝見尚也, 緒方裕子, 片岡淳, 岸本彩, 岩本康弘, 反町篤行, 床次真司, 福島県の里山における植物, 土壌, 底砂中放射性セシウムの長期変動, 分析化学, 66 巻 3 号 (2017) 163 - 17, 査読有

doi:10.2116/bunsekikagaku.66.163

Ishizuka, M., M. Mikami, T. Y. Tanaka, Y. Igarashi, K. Kita, Y. Yamada, N. Yoshida, S. Toyoda, Y. Satou, T. Kinase, K. Ninomiya and A. Shinohara, Use of a size-resolved 1-D resuspension scheme to evaluate resuspended radioactive material associated with mineral dust particles from the ground surface, Journal of Environmental Radioactivity 166(3):436-448, 査読有

doi:10.1016/j.jenvrad.2015.12.023

Kajino, M., M. Ishizuka, Y. Igarashi, K. Kita, C. Yoshikawa and M. Inatsu.

Long-term assessment of airborne radiocesium after the Fukushima nuclear accident: re-suspension from bare soil and forest ecosystems, Atmospheric Chemistry and Physics 16, 13149-13172, 査読有

doi:10.5194/acp-16-13149-2016

Satou, Y., K. Sueki, K. Sasa, K. Adachi, Y. Igarashi,

First successful isolation of radioactive particles from soil near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Anthropocene, 14, 71-76(2016), 査読有

doi: 10.1016/j.ancene.2016.05.001

Igarashi, Y., M. Kajino, Y. Zaizen, K. Adachi, M. Mikami,

Atmospheric radioactivity over Tsukuba, Japan: a summary of three years of observations after the FDNPP accident, Progress in Earth and Planetary Science 2015, 2:44, 査読有

doi:10.1186/s40645-015-0066-1  
Yamaguchi, N., M. Mitome, A-H, Kotone,  
M. Asano, K. Adachi, and T. Kogure,  
Internal structure of cesium-bearing  
radioactive microparticles released from  
Fukushima nuclear power plant, Scientific  
Reports, 6-20548, 査読有  
doi:10.1038/srep20548  
Sekiyama, T. T., Kunii, M., Kajino, M. and  
Shimbori, T., Horizontal resolution  
dependence of atmospheric simulations of  
the Fukushima nuclear accident using  
15-km, 3-km, and 500-m grid models,  
Journal of the Meteorological Society of  
Japan, 93(1), 45-60, 査読有  
doi: 10.2151/jmsj.2015-002  
Abe, Y., Y. Iizawa, Y. Terada, K. Adachi, Y. Igarashi  
and I. Nakai, Detection of uranium  
and chemical state analysis of individual  
radioactive microparticles emitted from the  
Fukushima nuclear accident using multiple  
synchrotron radiation X-ray analyses,  
Analytical Chemistry 86 (17), 8521-8525,  
査読有  
doi:10.1021/ac501998d  
田中泰宙,放射性物質の全球シミュレ  
ーション,日本風工学会誌,38(4),388-395  
査読有  
Danielache, S.O., Yoshikawa, C.,  
Priyadarshi, A., Takemura, T., Ueno, Y.,  
Thiemens, M. H., and Yoshida, N., An  
estimation of the radioactive <sup>35</sup>S emitted  
into the atmosphere from the Fukushima  
Daiichi Nuclear Power Plant by using a  
numerical simulation global transport,  
Geochemical Journal, 46,335-339, 査読有  
doi: 10.2343/geochemj.2.0212  
Priyadarshi, A., Hatakeyama, S., Noguchi, I.,  
Nojiri, Y., Tanimoto, H., Falkenthal, J. H.,  
Thiemens, M. H., Yoshida, N., Toyoda, S.,  
Yamada, K., Mukotaka, A., Fujii, A.,  
Uematsu, M., Detection of radioactive <sup>35</sup>S at  
Fukushima and other Japanese sites, Journal  
of Geophysical Research: Atmospheres,  
118,1020-1027, 査読有,  
doi: 10.1029/2012JD018485

[学会発表](計 191 件)

五十嵐康人,北和之,牧輝弥,竹中千里,  
足立光司,梶野瑞王,関山剛,財前祐二,  
石塚正秀,二宮和彦,大河内博,反町篤  
行,放射性セシウム再浮遊から見る森林  
由来バイオエアロゾルの重要性,第 10  
回大気バイオエアロゾルシンポジウム  
(招待講演),金沢大学(石川県金沢市)  
Igarashi, Y., Kita, K., Kinase, T. Maki,  
T. Takenaka, C., Kajino, M., Adachi,  
K. Ishizuka, M., Sekiyama, T. T.,  
Zaizen, Y., Ninomiya, K., Okochi, H.,  
Sorimachi, A. Novel hypothesis for  
Fukushima re-suspension: Biological

processes, Topic: 2.18. Special Session  
5: Radioactive Aerosol Transfer  
Linked to the Fukushima Event,  
European Aerosol Conference  
2016(invited lecture), Tours, France  
Kajino, M., Ishizuka, M., Igarashi, Y.,  
Kita, K., Yoshikawa, C., and M. Inatsu,  
Long-term assessment of airborne  
radio-cesium after the Fukushima  
nuclear accident: re-suspension from  
soil and vegetation, Japan Geoscience  
Union Meeting 2016, Makuhari, Chiba  
K. Kita, T. Kinase, T. Horiuchi,  
S. Sakamoto, A. Takei, H. Demizu, Y. Igarashi,  
K. Adachi, M. Kajino,  
K. Yamada, S. Toyoda, N. Yoshida,  
K. Ninomiya, A. Shinohara, H. Okochi,  
H. Ogata, M. Ishizuka, T. Maki et al,  
Re-suspension processes of radioactive  
Cs emitted by the FNDPP accident in  
summer and autumn-possibility of  
biosphere-atmosphere circulation of  
radioactive Cs, Japan Geoscience  
Union Meeting 2016, Makuhari, Chiba  
足立光司,五十嵐康人,梶野瑞王,財前  
祐二,飯澤勇信,阿部善也,中井泉,原  
発事故により放出された放射性微粒子  
の物理化学的特徴,第 56 回大気環境学  
会年会・特別集会(招待講演),早稲田  
大学(東京都新宿区)  
五十嵐康人,原発事故からの放射性セシ  
ウムの物理・化学性状,日本放射線安全  
管理学会第 14 回学術大会(招待講演),  
筑波大学(茨城県つくば市)  
Sekiyama, T.T., Spatial resolution  
dependence of Fukushima  
radionuclide simulations using 15-km,  
3-km, and 500-m grid models,  
American Meteorological Society  
94rd Annual Meeting, Atlanta,  
Georgia  
関山剛,福島原発事故 <sup>137</sup>Cs 移流拡散シ  
ミュレーションのモデル解像度依存性,  
日本気象学会 2013 年度秋季大会,東北  
大学(宮城県仙台市)  
石塚正秀,三上正男,田中泰宙,五十嵐  
康人,北和之,吉田尚弘,豊田栄,篠  
原厚,地表面から飛散したダスト粒子に  
よる再浮遊放射性物質の一次元推定,日  
本気象学会 2013 年度秋季大会,東北  
大学(宮城県仙台市)  
北和之,田中美佐子,木名瀬健,山口隆  
亮,木野日美子,藤澤遥,川島洋人,  
五十嵐康人,三上正男,吉田尚弘,豊田  
栄,山田桂太,大河内博 他,福島県浪  
江町で観測された大気放射能濃度と,各  
種エアロゾル組成との関係,第 19 回大  
気化学討論会,和倉温泉のと楽(石川県  
七尾市)  
M. Ishizuka, M. Mikami, T. Tanaka, Y.

Igarashi, Evaluation of radioactivity resuspension by mineral dust particles from ground surface using a 1-D vertical model, Japan Geoscience Union Meeting 2013, Makuhari, Chiba  
T. Maki, T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, M. Kajino, Y. Igarashi, and M. Mikami, Radioactive Nuclei Emission Analysis from Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant by Inverse Model, AMS 93rd Annual Meeting( Austin, Texas)  
田中泰宙, 梶野瑞王, 眞木貴史, 関山剛, 五十嵐康人, 放射性エアロゾルの拡散シミュレーションの現状, 第 29 回エアロゾル科学・技術研究討論会(招待講演), 北九州学術研究都市会議場(福岡県北九州市)

五十嵐康人, 福島事故による大気中の人工放射性核種の長期変動への影響, 第 29 回エアロゾル科学・技術研究討論会(招待講演), 北九州学術研究都市会議場(福岡県北九州市)

[図書](計 12 件)

阿部善也, 放射光マイクロビーム X 線を用いた福島原発事故由来放射性大気粉塵の正体解明, 「蛍光 X 線分析の実際 第 2 版中井泉・編」, 朝倉書店, 169, 全 280 ページ(2016 年)

五十嵐康人, 梶野瑞王, 栗原治, 小林卓也, 関山剛, 竹村俊彦, 滝川雅之, 田中泰宙, 津旨大輔, 永井晴康, 眞木貴史 他多数, 報告「東京電力福島第一原子力発電所事故によって環境中に放出された放射性物質の輸送沈着過程に関するモデル計算結果の比較」, 日本学術会議総合工学委員会 原子力事故対応委員分科会, 103 ページ(2014 年)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

五十嵐 康人 (IGARASHI YASUHIITO)  
気象研究所・環境応用気象研究部・室長  
研究者番号: 90343897

### (2)研究分担者

- ・ 北 和之 (KITA KAZUYUKI)  
茨城大学・理学部・教授  
研究者番号: 30221914
- ・ 石塚 正秀 (ISHIZUKA MASAhide)  
香川大学・工学部・准教授  
研究者番号: 50324992
- ・ 吉田 尚弘 (YOSHIDA NAOHIRO)  
東京工業大学・物質理工学院・教授  
研究者番号: 60174942
- ・ 大河内 博 (OKOCHI HIROSHI)  
早稲田大学・理工学術院・教授  
研究者番号: 00241117

- ・ 里村 雄彦 (SATOMURA TAKEHIKO)  
京都大学・理学系研究科・教授  
研究者番号: 20273435 (H26 年ご逝去)

### (3)連携研究者

- ・ 川島 洋人 (HIROTO KAWASHIMA)  
秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授  
研究者番号: 60381331
- ・ 田中 泰宙 (TANAKA YASUMICHI)  
気象研究所・環境応用気象研究部・室長  
研究者番号: 50435591
- ・ 関山 剛 (SEKIYAMA TSUYOSHI)  
気象研究所・環境応用気象研究部・主任研究官  
研究者番号: 90354498
- ・ 眞木 貴史 (MAKI TAKASHI)  
気象研究所・環境応用気象研究部・室長  
研究者番号: 50514973
- ・ 山田 桂太 (YAMADA KEITA)  
東京工業大学・物質理工学院・准教授  
研究者番号: 70323780
- ・ 財前 祐二 (ZAIZEN YUJI)  
気象研究所・予報研究部・室長  
研究者番号: 70354496
- ・ 足立 光司 (ADACHI KOUJI)  
気象研究所・環境応用気象研究部・主任研究官  
研究者番号: 90630814

### (4)研究協力者

- ・ 中井 泉 (NAKAI IZUMI)
- ・ 山田 豊 (YAMADA YUTAKA)
- ・ 宇谷 啓介 (UTANI KEISUKE) (ご逝去)
- ・ 西口 講平 (NISHIGUCHI KOHEI)
- ・ 阿部 善也 (ABE YOSHINARI)
- ・ 三上 正男 (MIKAMI MASAO)
- ・ 羽田野 祐子 (HATANO YUKO)
- ・ 緒方 裕子 (OGATA HIROKO)
- ・ 吉川 知里 (YOSHIKAWA CHISATO)
- ・ 青山 智夫 (AOYAMA TOMOO)
- ・ 豊田 栄 (TOYODA SAKAE)
- ・ 服部 祥平 (HATTORI SHOHEI)
- ・ 村上 茂樹 (MURAKAMI SHIGEKI)
- ・ 梶野 瑞王 (KAJINO MIZUO)
- ・ 新村 信雄 (NIIMURA NOBUO)
- ・ 渡邊 明 (WATANABE AKIRA)
- ・ 長田 直之 (OSADA NAOYUKI)
- ・ 谷田貝 亜紀代 (YATAGAI AKIYO)
- ・ 牧 輝弥 (MAKI TERUYA)
- ・ 佐藤 志彦 (SATOU YUKIHIKO)