

平成30年 5月26日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2014～2017

課題番号：26304003

研究課題名(和文) 沙漠地帯から越境輸送される黄砂バイオエアロゾルを標的とした高高度大気調査

研究課題名(英文) Atmospheric survey targeting the long-range transported bioaerosol by Asian dust events

研究代表者

牧 輝弥 (Maki, Teruya)

金沢大学・物質化学系・准教授

研究者番号：70345601

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：近年、中国沙漠地帯から飛来する黄砂とともに真菌や細菌(バイオエアロゾル)も長距離輸送され、その生態・健康へ与える影響に強い関心が集まる。そこで、砂塵(黄砂)による微生物の越境輸送を解明し、その生体影響評価に取り組んだ。黄砂発生源(敦煌)と飛来地(日中韓)において、高高度(1000m-3000m)の大気粒子試料を採取する大気観測(係留気球, ヘリコプター併用)を実施した。採取した試料に含まれる微生物群のゲノムDNAを解析することで、東アジア一円を拡散する大気微生物の群集構造と特性を明らかとした。さらに、動物実験によって、黄砂に付随する真菌がアレルギーおよび気管支炎の発症に関わることを突き止めた。

研究成果の概要(英文)：Asian dust events occurring over East Asia dispersal airborne microorganisms (bioaerosol), which would impact biological ecosystems and human societies in downwind area such as Japan and Korea. However, the microbial long-range transports process has rarely been investigated because large-scale sampling network over eastern Asia were needed. Our Japan-China-Korea survey network collected the bioaerosol samples at height altitudes (1000m-3000m) at Asian dust source and deposition regions. Metagenomic analysis targeting microbial rRNA genes revealed that the microbial communities associate with Asian dust were originated from terrestrial, marine, phyllophiric environments. Furthermore, the microbial effects of human health, such as allergy and asthma, have been demonstrated by the mouse assay using fungal isolates. These informative results would contribute to develop the global hazardous measures for the long-range transported pathogens by Asian dust events and industrial pollutants.

研究分野：微生物生態学

キーワード：バイオエアロゾル 微生物 越境大気 黄砂 PM2.5 健康影響 真菌 接地境界層

1. 研究開始当初の背景

中国大陸での年々進行する砂漠化、著しい大陸沿岸部の都市開発は、東アジア一円で黄砂を頻発化させ、大気汚染(煙霧)を拡大化させ、深刻な環境問題を引き起こす。近年、黄砂粒子や汚染粒子(PM2.5)に含まれる有害化学物質のみならず、カビや細菌(バイオエアロゾル)も伴って風送され、動植物や微生物の生態システムやヒト健康・生活に及ぼす影響について、社会的・学術的に強い関心が寄せられてきた。しかし、バイオエアロゾルを高度数千メートル上空で採取するには高度な観測技術を要するとともに、大気微生物を対象とした学問分野が学術界に欠如しているため、自然大気を長距離拡散する微生物群に関する核心的な調査事例は未だ少ない。そのため、東アジア一円へと越境輸送される微生物の生態学的特徴を理解し、そのヒト健康や環境への影響評価が求められている。

こうした背景、申請者らは、黄砂発生源(中国敦煌)および飛来地(珠洲、金沢、立山)において、上空数千mを浮遊する大気試料を直接捕集し、そこに含まれる微生物の特徴を遺伝子レベルで分析してきた。申請当時、黄砂時の大気には、2~4種類の優占種(*Bacillus subtilis*など)が大部分を占め、残り25%は、150種以上の膨大な未知な非優占種(優占種以外)で構成されていることを突き止めていた。しかし、非優占種の種組成は黄砂時期ごとに異なっていたため、非優占種の長距離輸送の検証に向けて、中国大陸と日本で同一黄砂時の大気粒子試料を採取し、微生物の群集構造を詳細に解析するとともに、その環境・健康影響を評価する本研究申請に至った。

2. 研究の目的

黄砂による微生物種の長距離輸送プロセスをより詳細に理解するため、日本、中国、韓国の全6観測サイトにおいて、複数の大気調査手法(気球・航空機・立山積雪)を併用した同一黄砂の大気観測調査を実施した。さらに、超並列シーケンスを使った“培養を経ない遺伝学的解析”を本格化させ、非優占種も含めた大気浮遊微生物の群集構造を明らかにした。これら微生物群の環境・健康影響を評価するため、分離株を使った動物実験および土壌・海水培養実験を実施した。

3. 研究の方法

(1) バイオエアロゾルの捕集調査

黄砂発源地(敦煌)および飛来地(北京、ソウル)の観測サイトにおいて、エアポンプを搭載した係留気球をあげ(高度1000m)、大気粒子を捕集した。同時に地上での試料捕集も実施した(図1)。一方、黄砂飛来地である日本の観測サイト(珠洲)では、ヘリコプターを利用し、高度10mから3000mまでの

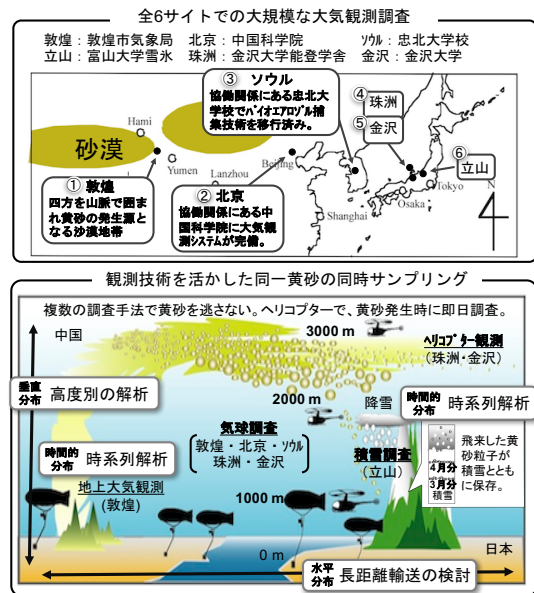


図1 東アジアに展開する観測サイトと観測スキーム

捕集調査を行った。富山県立山の積雪断面からも黄砂鉍物粒子を大量捕集した。

(2) 培養を経ない微生物ゲノム解析

採取した大気試料からゲノムDNA(環境ゲノム)を直接抽出した後、環境ゲノムに含まれる16S rRNA遺伝子とITS領域(細菌・真菌に普遍的に存在し種のマーカーとなる)の遺伝子情報を、超並列シーケンサー(MiSeq)によって解読し、遺伝子解析ソフト(Qiime)を利用して、非優占種を含めた微生物群集構造を網羅的に解析した。

(3) 未知微生物の集積培養

大気粒子試料を液体培地に懸濁させ、寒天平板法および希釈培養法(液体培地)に使用して、細菌および真菌を分離培養した。さらに、懸濁液に液体培地(低栄養培地)を加え集積培養した後、非優占種の分離培養も試みた。分離株の16S RNA遺伝子を使って、同定した後、*gyrA*, *rpoB*, *purH*, *polC*及び*groEL*遺伝子(遺伝子多型領域)を用いたMultilocus sequence typing (MLST)解析を行い、細菌株を株レベルで系統地理学的に分析した。

(4) 非優占種の遺伝学的識別手法の確立&動態調査

キーストーン種に特異的な核酸(プローブとプライマー)を合成し、微生物一細胞をも検出できる遺伝子定量法(定量PCR法)を確立した。立山積雪中の黄砂試料を使用して、定量PCR法を使って用いて、黄砂バイオエアロゾルの自然界での分布とその冬期から春季にかけての変化を明らかにした。

(5) 生態・健康への影響評価

分離菌株の細菌および真菌の細胞(特に日和見感染細菌)を、マウスに吸引させ、組織の顕微鏡観察および遺伝子・タンパク質の発現量によって、マウスのアレルギー状態お

よび気管支炎症を確認した。大気微生物の環境影響を評価するため、自然中の海水や土壌試料に、黄砂試料を添加した後、培養し、試料中の微生物群集構造の変化を解析した。

4. 研究成果

(1) バイオエアロゾルの捕集調査

タクラマカン砂漠（敦煌市）において、エアポンプを搭載した係留気球を上げ、高度1000mの大気粒子を孔径0.2 μ mのメンブランフィルター上に採取した（図1）。一方、黄砂が飛来する能登半島（珠洲市・羽咋市）では、ヘリコプターを飛行させ、高度1000m～3000mの大気粒子をフィルター上に吸引捕集した。さらに、北京およびソウル、米子も観測地点に含め、全地点で、建物屋上を使った大気観測調査も実施し、上空のデータと比較することで、大気微生物の長距離輸送と垂直混合状態を議論した。

黄砂発生地（敦煌市；タクラマカン砂漠）及び飛来地（石川県；金沢市，珠洲市，羽咋市，富山県；富山市，鳥取県；米子市，韓国；ソウル市）において大気エアロゾル捕集調査を行った。エアポンプを用いて0.2 μ mメンブランフィルター上に捕集する装置を作製し、航空機，ヘリコプター，係留気球，建物及び地上を利用して、様々な高度（2mから3000m）のバイオエアロゾルを捕集した。富山県立山山岳（2450m）では、黄砂粒子が降雪と共に降り積もり、形成された汚れ層を採取した。

(2) 培養を経ない微生物ゲノム解析

大気試料からゲノムDNAを直接抽出し、微生物分類の指標となるrRNA遺伝子の核酸塩基配列を、超並列シーケンサーを使って解読した。rRNA遺伝子配列を系統分類学的に解析することで、微生物群集構造を理解し、大気微生物の空間分布や経時的変化を検討した。黄砂発生源および黄砂発生時の上空大気では、*Bacillus*属に属す土壌細菌が優勢した（図2）。本属の細菌群は、芽胞を形成す

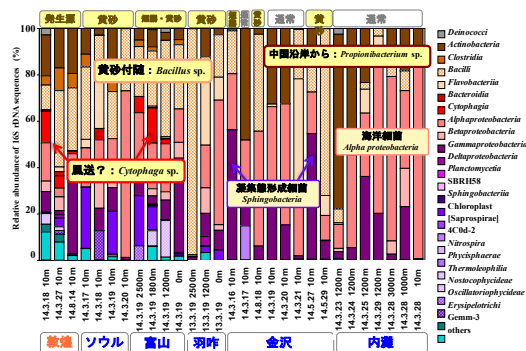


図2 日中韓での微生物群集構造の比較

ることで、大気中の環境ストレスにも耐え、風送されやすく、生きて大気中を運ばれやすいと推察できる。一方、日本で採取した大気試料からは、海洋細菌（Alphaproteobacteria門など）や植物に付随する細菌が多く検出され、非黄砂時には優勢した。日本海の海水や

日本列島の山野に由来する微生物が高高度へと風送されると推察できる。

黄砂時に優勢する *Bacillus* 属には、食中毒菌や炭疽菌などが含まれる。さらに、結核菌やジフテリア菌に近縁な配列も、高高度大気中から検出された。これら病原菌がパンデミックを引き起こした際には、長距離輸送される可能性はある。

(3) 未知微生物の集積培養

新たに計341株の細菌株が得られた。各細菌株に対して16S rRNA遺伝子解析を施行すると、290株の細菌種が同定できた。その結果、225株がFirmicutes門 *Bacillus* 属に分類され、複数の観測サイトで共通して検出された。*Bacillus* 属は、紫外線，低温，乾燥などの過酷な環境下では、芽胞を形成し身を守り、大気中を生きて風送されることが知られている。今回は、越境輸送される優勢種 *Bacillus subtilis* に加え、非優勢種である *Bacillus* 属の別種が、黄砂発生地と飛来地で採取した同一黄砂の試料から検出された。遺伝子多型解析を施行したところ、*B. amyloliquefaciens* の株が、黄砂発生源の敦煌，黄砂が飛来した立山および金沢，珠洲，米子で採取した試料で極めて近い遺伝子タイプとなり、非黄砂時に採取した株とは異なったため、本種は飛散量が少ないものの、黄砂によって長距離輸送されることが示唆された。

(4) 遺伝学的識別手法の確立&動態調査

大気粒子をDAPI（DNA染色剤）によって染色し、蛍光顕微鏡下で観察すると、微生物様の粒子が鉱物粒子に付着しているのが確認できた。微生物の細胞密度は、通常の能登半島上空では $10^4 \sim 10^5$ cells/m³ と低く、黄砂発生時には10～100倍に増大し、黄砂飛来とともに微生物が風送されていると考えられる。タクラマカン砂漠上空の細胞密度は、恒常的に $10^6 \sim 10^7$ cells/m³ と高かった。

立山積雪からは黄砂を含む積雪試料を大量に採取できるため、定量PCRによって細菌数に関する有効なデータが得られた（図3）。大気浮遊微生物の細胞密度は、秋から

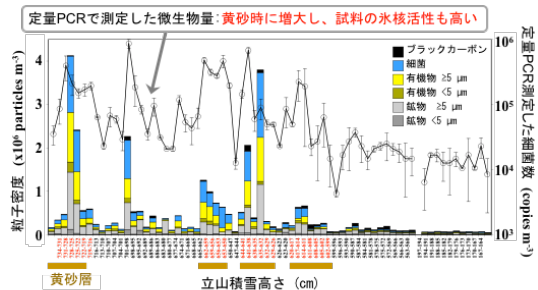


図3 立山積雪中に保存された大気粒子に含まれる微生物量

冬にかけて低く、黄砂などを含む越境大気が到来すると増大する傾向にあった。さらには、氷核活性に関わる微生物も、黄砂とともに大気中に増大することを突き止めた。従って、バイオエアロゾルの越境輸送は、日本の気候変動に関わっているかもしれない。

(5) 生態・健康への影響評価

高高度の大気試料から分離培養した微生物株に絞って、その生体影響を、動物実験で調べたところ、真菌類の複数種 (*Lecytophora* sp, *Coniothyrium* spp.) が、気管支炎を誘発するのみならず、黄砂アレルギーを数倍以上に増悪することが判明した (図4)。アレルギー症状に関わる微生物は、確実に風送されており、しかも複数種にわたるため、ハザードマップなどを作成した上での健康対策は必要となろう。

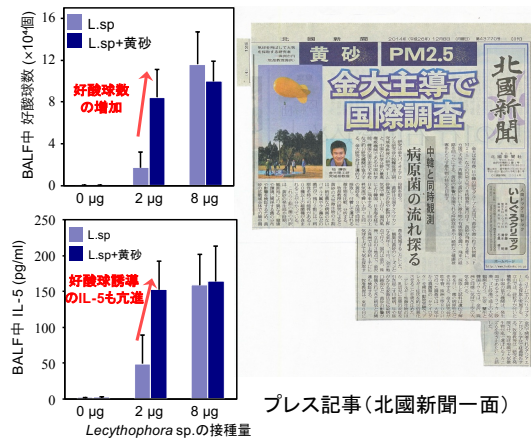


図4 健康影響評価に関するマウス実験の結果とプレス記事

一方、自然中の海水や土壌試料を、黄砂試料とともに培養したところ、数日後には、黄砂に含まれる化学成分 (硝酸) および微生物によって、もとの微生物群集構造の変化することを確認した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 26 件)

- 1) B. Liu, T. Ichinose, M. He, F. Kobayashi, T. Maki, S. Yoshida, Y. Yoshida, K. Arashidani, M. Nishikawa, H. Takano, G. Sun, T. Shibamoto, Lung inflammation by fungus, *Bjerkandera adusta* isolated from Asian sand dust (ASD) aerosol and enhancement of ovalbumin-induced lung eosinophilia by ASD and the fungus in mice. *Allergy, Asthma & Clinical Immunology*, 査読有 10 (2014) 10. DOI:10.1186/1710-1492-10-10
- 2) T. Maki, F. Puspitasari, K. Hara, M. Yamada, F. Kobayashi, H. Hasegawa, Y. Iwasaka, Variations in the structure of airborne bacterial communities in a downwind area during an Asian dust (Kosa) event, *Science of the Total Environment*, 査読有, 488-489 (2014) 75-84. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.04.044
- 3) He, M., T. Ichinose, Liu, B., Song, Y., Yoshida, Y., F. Kobayashi, T. Maki, S. Yoshida, M. Nishikawa, H. Takano and G. Sun., Silica-carrying particulate matter enhances *Bjerkandera adusta* - induced murine lung eosinophilia, *Environmental toxicology*, 査読有,(2014) DOI: 10.1002/tox.22025
- 4) F. Kobayashi, T. Maki, M. Kakikawa, M. Yamada, F. Puspitasari, Y. Iwasaka, Bioprocess of Kosa bioaerosols: effect of ultraviolet radiation on airborne bacteria within Kosa (Asian dust), *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 査読有, 119, (2015) 570-579. doi:10.1016/j.jbiosc.2014.10.015
- 5) T. Maki, K. Hara, F. Kobayashi, Y. Kurosaki, M. Kakikawa, A. Matsuki, C. Bin, G. Shi, H. Hasegawa, Y. Iwasaka, Vertical distribution of airborne bacterial communities in an Asian-dust downwind area, Noto Peninsula, *Atmospheric Environment*, 査読有, 119 (2015) 282-293. DOI:10.1016/j.atmosenv.2015.08.052F
- 6) M. He, T. Ichinose, Y. Song, Y. Yoshida, F. Kobayashi, T. Maki, S. Yoshida, H. Takano, T. Shibamoto, G. Guifan Sun, The role of Toll-like receptors and MyD88 in *Bjerkandera adusta*-induced lung inflammation, *International Archives of Allergy and Immunology*, 査読有,168(2015)96-106 .DOI:10.1159/000441895
- 7) F. Puspitasari, T. Maki, G. Shi, C. Bin, F. Kobayashi, Y. Iwasaka, Phylogenetic analysis of bacterial species compositions in sand dunes and dust aerosol in an Asian dust source area, the Taklimakan Desert, *Air Quality, Atmosphere and Health*, 査読有 9 (2016) 631-644.DOI: 10.1007/s11869-015-0367-y F.
- 8) F. Kobayashi, K. Iwata, T. Maki, M. Kakikawa, T. Higashi, M. Yamada, T. Ichinose, Y. Iwasaka, Evaluation of the toxicity of a Kosa (Asian duststorm) event from view of food poisoning: observation of Kosa cloud behavior and real-time PCR analyses of Kosa bioaerosols during May 2011 in Kanazawa, Japan, *Air Quality, Atmosphere and Health*, 査読有 9, (2016)3-14. DOI 10.1007/s11869-015-0333-8
- 9) F. Kobayashi, T. Maki, M. Kakikawa, T. Noda, H. Mitamura, A. Takahashi, S. Imura, Y. Iwasaka, Atmospheric bioaerosols originating from Adélie penguins (*Pygoscelis adeliae*): ecological observations of airborne bacteria at Hukuro Cove, Langhovde, Antarctica, *Polar Science*, 査読有 10, (2016) 71-78. doi:10.1016/j.polar.2015.12.002
- 10) K. Hara, T. Maki, F. Kobayashi, M. Kakikawa, M. Wada, A. Matsuki, Variations of ice nuclei concentration induced by rain and snowfall 1 within a local forested site in Japan, *Atmospheric Environment* 査読有 127 (2016) 1-5. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.12.009
- 11) 朝日裕也, 牧 輝弥, 石川 輝, 松永智樹, 渡辺幸一, 青木一真, 堀内 周, 岩坂泰信, 中国大陸からの越境エアロゾルが貧栄養海域微生物に及ぼす生態学的影響の解明: 太平洋沖合の海水を用いた洋上培養実験, 日本海水学会, 査読有 70 (2016) 28-40.
- 12) K. Hara, T. Maki, M. Kakikawa, F. Kobayashi, A. Matsuki, Effects of different temperature treatments on biological ice.

- Atmospheric Environment, 査読有,140 (2016) 415–419.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.01
- 13) T. Maki, Y. Kurosaki, K. Onishi, K.C. Lee, S.B. Pointing, D. Jugder, N. Yamanaka, M. Shinoda, Variations in the structure of airborne bacterial communities in Tsogt-Ovoo of Gobi Desert area during dust events, *Air Quality, Atmosphere & Health*. 査読, 10 (2016) 249–260. doi: 10.1007/s11869-016-0430-3
- 14) T. Maki, A. Ishikawa, T. Mastunaga, S.B. Pointing, Y. Saito, T. Kasai, K. Watanabe, K. Aoki, A. Horiuchi, K.C. Lee, H. Hasegawa, Y. Iwasaka, Atmospheric aerosol deposition influences marine microbial communities in oligotrophic surface waters of the western Pacific Ocean., *Deep-Sea Research Part I*, 査読有 118 (2016) 37–45. 10.1016/j.dsr.2016.10.002
- 15) 牧輝弥, 岩坂泰信, 吉田圭吾, 小林史尚, 河合賢人, 市瀬孝道, プロダクトイノベーション:「そらなっとう」開発秘話:空飛ぶ納豆菌はなぜ発見されたのか? 化学と生物, 査読有, 54, (2016) 289-293.
- 16) M He, T. Ichinose, B Liu, Song Y, Yoshida Y, Kobayashi F, Maki T., Yoshida S, Nishikawa M, Takano H, Sun G., Silica-carrying particulate matter enhances *Bjerkandera adusta*-induced murine lung eosinophilia. *Environ Toxicol*, 査読有, 31 (2016) 93-105. doi.org/10.1002/tox.22025
- 17) 小林史尚, 南極上空大気の中の微生物, 極地, 査読無,105号 (2017)
- 18) Taketani, F., Y. Kanaya, T. Nakayama, S. Ueda, Y. Matsumi, Y. Sadanaga, Y. Iwamoto, A. Matsuki, Property of black carbon particles measured by a laser-induced incandescence technique in the spring at Noto peninsula, Japan, *Eurozoru Kenkyu*, 査読有, 31(2016)194-202. doi: 10.11203/jar.31.194.
- 19) Sadanaga, Y., R. Takaji, A. Ishiyama, K. Nakajima, A. Matsuki, H. Bandow, Thermal dissociation cavity attenuated phase shift spectroscopy for continuous measurement of total peroxy and organic nitrates in the clean atmosphere, *Review of Scientific Instruments*, 査読有, 87 (2016) 074102. doi: 10.1063/1.4958167.
- 20) Hara, K., T. Maki, M. Kakikawa, F. Kobayashi, A. Matsuki, Effects of different temperature treatments on biological ice nuclei in snow samples, *Atmospheric Environment*, 査読有, 140 (2016) 415–419. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.011
- 21) Kameda, T., E. Azumi, A. Fukushima, N. Tang, A. Matsuki, Y. Kamiya, A. Toriba, K. Hayakawa, Mineral dust aerosols promote the formation of toxic nitropolycyclic aromatic compounds, *Scientific Reports*, 査読有, 6 (2016) 24427. doi:10.1038/srep24427.
- 22) T. Maki, K. Hara, A. Iwata, K.C. Lee, K. Kawai, K. Kai, F. Kobayashi, S.B. Pointing, S. Archer, H. Hasegawa, Y. Iwasaka, Variations of airborne bacterial communities at high altitudes in response dust events, over Asian-dust downwind area (Japan), *Atmospheric Chemistry and Physics*, 査読有, 17 (2017) 11877–11897. doi.org/10.5194/acp-17-11877-2017
- 23) D.C. Lacap-Bugler, K.C. Lee, S. Archer, L.N. Gillman, M.C. Lau, S. Leuzinger, C.K. Lee, T. Maki, C.P. McKay, J.K. Perrott, A. de los R. Murillo, K.A. Warren-Rhodes, D.W. Hopkins and S.B. Pointing, Global diversity of desert hypolithic cyanobacteria, *Frontiers in Microbiology*, 査読有 (2016) doi: 10.3389/fmicb.2017.00867., in press
- 24) K. Tang, Z. Huang, J. Huang, T. Maki, S. Zhang, X. Ma, J. Shi, J. Bi, T. Zhou, G. Wang, and L. Zhang: Characterization of atmospheric bioaerosols along the transport pathway of Asian dust during the Dust-Bioaerosol 2016 Campaign, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 査読有, 18 (2018) 7131-7148, doi.org/10.5194/acp-18-7131-2018
- 25) T. Maki, S. Furumoto, Y. Asahi, K.C. Lee, K. Watanabe, K. Aoki, M. Murakami, T. Tajiri, H. Hasegawa, A. Mashio, Y. Iwasaka, Long-range transported bioaerosols captured in snow cover on Mount Tateyama, Japan: Impacts of Asian-dust events on airborne bacterial dynamics relating to ice-nucleation activities, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 査読有 (2018) doi.org/10.5194/acp-2017-1241, in press
- 26) 牧輝弥, 季節風が運ぶ納豆菌, セブン-イレブン記念財団「みどりの風」, 査読無, No.52 winter (2017) 16-17
- [学会発表] (計 18 件)
- 1) T. Maki, S. Furumoto, Y. Asahi, K.C. Lee, K. Watanabe, K. Aoki, M. Murakami, T. Tajiri, Y. Iwasaka, Long-range transported bacterial communities relating to ice-nucleic particles accumulated to snow cover on Mount Tateyama, Central Japan, *International Symposium on Cryosphere and Biosphere (International Glaciological Society)*, Kyoto Prefectural University, Kyoto, 19 March, 2017 (招待講演).
- 2) 牧輝弥, 空飛ぶ菌から生まれた『そらなっとう』, 南砺市民大学 人と自然・健康、福光福祉会館、南砺市, 富山, 2017年5月23日 (招待講演).
- 3) 牧輝弥, バイオエアロゾル (大気中の微生物)の現地観測, *JSPS 研究拠点形成事業 公開セミナー*, 名古屋, 2017年2月23日(招待講演).
- 4) 牧輝弥, 東アジアにおけるバイオエアロゾルの細菌群集構造の変化, 第10回バイオエアロゾルシンポジウム, 金沢, 2017年2月20日
- 5) 牧輝弥, 空飛ぶ菌から納豆『そらなっとう』開発秘話, 平成27年度北陸4大学連携まちなかセミナー, 福井, 2016年11月3日(招

- 待講演).
- 6) 牧輝弥, 風で運ばれる微生物たち, 第 19 回全国風サミット in 珠洲, 珠洲, 2016 年 10 月 28 日 (招待講演).
 - 7) T. Maki, Y. Kurosaki, K. Onishi, F. Kobayashi, K. Kai, K. Lee, S. Pointing, D. Jugder, M. Shinoda, Y. Iwasaka, Origins of airborne bacterial communities in bioaerosols transported from Gobi Desert area by dust events, Third JSPS Seminar, Ulaanbaatar, Mongolia, 9 August 2016 (招待講演)
 - 8) T. Maki, Lecture for the investigation of atmospheric bioaerosols, Third JSPS Seminar, Ulaanbaatar, Mongolia, 11 August 2016, (招待講演)
 - 9) T. Maki, A. Maekawa, F. Kobayashi, K. Hara, A. Matsuki, A. Iwata, K. Kai, B. Chen, G. Shi, Y. H. Kim, C.S. Hong, Y. Iwasaka, The effects of Asian dust events on Variations in airborne bacterial communities at high altitudes over a downwind area, Noto Peninsula, Japan. Dust2016, International Conference on Atmospheric Dust, Castellaneta Marina, Italy, June 12, June 12-17 (招待講演)
 - 10) F. Kobayashi, D. Akaishi, T. Maki, M. Kakikawa, A. Matsuki, Y. Iwasaka, The Effects of Airborne Bacteria within Asian Duststorm on the Forest Ecosystem: Wood Decay and Growth of Pinewood Nematode by Kosa Bioaerosol, The 8th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall, Lisbon, Portugal, 3 May (1-4 May) 2016
 - 11) Y. Iwasaka, T. Maki, F. Kobayashi, M. Kakikawa, A. Matsuki, Microorganisms Transported Long-range in the Free Atmosphere over North-East Asia, 8th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall, Lisbon, Portugal, 3 May 2016
 - 12) 小林史尚, VIII 期における大気バイオエアロゾル観測, 南極エアロゾル研究会, 立川, 2016 年 8 月 3 日-4 日 (招待講演).
 - 13) 小林史尚, 津軽半島における大気の今の現状, 市民公開サイエンス講座, 五所川原, 2016 年 8 月 20 日 (招待講演).
 - 14) 小林史尚, 南極の生活と自然エネルギー, 弘前アップルロータリークラブ講話会講演, 弘前, 2016 年 12 月 5 日 (招待講演).
 - 15) 小林史尚, 黄砂とともに微生物がやってくる? シルクロード敦煌観測談, 弘前ロータリークラブ外部卓話会講演, 弘前, 2016 年 12 月 5 日 (招待講演).
 - 16) 牧輝弥, 市瀬孝道, 小林史尚, 岩坂泰信, アジア大陸から越境輸送されてくる大気バイオエアロゾルの 2 つの顔, 第 90 回日本感染症学会総会, 仙台, 2016 年 4 月 15 日 (招待講演).
 - 17) 松木篤, 水島悠希, 岩田歩, 渡邊誠, 牧輝弥, 柿川真紀子, 小林史尚, 原子間力顕微鏡を用いた個別黄砂粒子の物性評価, 第 33 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 大阪府立大学, 2016 年 9 月 1 日

- 18) 松木篤, 能登学舎での大気観測研究, 能登学舎開設 10 周年記念式典, 珠洲市, 2016 年 10 月 22 日

[図書] (計 2 件)

- 1) 牧輝弥, バイオエアロゾル, 河村公隆他編, 低温環境の科学事典, 朝倉書籍, 2016 年 07 月 25 日, ISBN978-4-254-16128-1 (2016) p44-45
- 2) 松木篤, 生物氷晶核, 低温の科学辞典, 河村公隆 他編, 朝倉書店, 2016 年 07 月 25 日, ISBN978-4-254-16128-1 (2016) p42-43

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件) 該当なし
- 取得状況 (計 0 件) 該当なし

[その他]

研究者情報

<http://ridb.kanazawa-u.ac.jp/public/detail.php?kaken=70345601>

<https://www.mitsui.com/jp/ja/csr/contribution/fund/10years/15persons/maki/>

<https://an-life.jp/article/600>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

牧輝弥 (MAKI Teruya)

金沢大学・物質化学系・准教授

研究者番号: 70345601

(2) 研究分担者

市瀬孝道 (ICHINOSE Takamichi)

大分看護科学大学・看護学部・教授

研究者番号: 50124334

小林尚史 (KOBAYASHI Fumihisa)

弘前大学・理工学研究科・教授

研究者番号: 60293370

柿川 真紀子 (KAKIKAWA Makiko)

金沢大学・理工研究域・准教授

研究者番号: 10359713

松木篤 (MASTUKI Astushi)

金沢大学・環日本海域環境研究センター・准教授

研究者番号: 90505728

(3) 連携研究者

岩坂泰信 (IWASAKA Yasunobu)

滋賀県立大学・理事・教授

研究者番号: 20022709