

平成 30 年 9 月 4 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26340049

研究課題名(和文) 風送エアロゾルが攪乱する海洋微生物生態：船舶を利用した洋上培養実験

研究課題名(英文) Atmospheric aerosol deposition influences marine microbial communities in oligotrophic seawaters of the western Pacific Ocean

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：中国大陸から越境輸送されるエアロゾル(黄砂・汚染粒子)に含まれる化学成分は、海洋へと沈着すると、海洋微生物の栄養となり、その増殖を促す。現在、大気海洋研究が、モデル計算で進められるのが国際的に主流な中、申請者らは、山岳積雪に蓄積した越境エアロゾル試料を捕集し、海水に添加する洋上培養実験を施行することで、海洋微生物が受ける動態変化を直接検証した。その結果、貧栄養海域では、大気粒子(特に汚染粒子)から溶出する硝酸と有機物が、植物プランクトンの増殖を促進させ、海洋細菌群の群集構造も変化させた。海洋と気象の条件が揃えば、越境エアロゾルが一次生産者を大きく変動させる潜在的な影響力があると言える。

研究成果の概要(英文)：Atmospheric aerosols, such as desert dust and polluted particulate matter (PM2.5), are transported from continental Asia to surface seawaters of the western Pacific Ocean, and provide a major source of nutrients and trace metals to the marine environments. Supplementing seawater with aerosols possibly change in seawater nutrient composition as well as the marine microbial community. Shipboard experiments in the Pacific Ocean involved the recovery of oligotrophic oceanic water by supplementation with aerosol particulates obtained from the snow-cover mountain. Initial increases in nitrates due to the aerosol addition were followed by a decrease correlated with the phytoplankton (diatoms) increase. The bacterial community also changed with apparent increases in the rates of heterotrophic bacteria in aerosol addition seawater. Our findings provide empirical evidence revealing the aerosol impact on oceanic seawater microbiology by alleviating nitrogen limitation in the organisms.

研究分野：微生物生態学

キーワード：エアロゾル 貧栄養海域 植物プランクトン 炭酸固定 大気沈着 海洋細菌

1. 研究開始当初の背景

黄砂粒子や微少粒子状物質(PM2.5)などの大気粒子(エアロゾル)は、中国大陸より日本に飛来し、ヒト健康へ影響を及ぼすのみならず、海洋に降下・沈着した際には、海洋微生物群のバイオマスを大きく変動させる要因となり得る。風送されるエアロゾルには、天然由来の無機物(鉱物)や有機物(生物成分)が含まれるとともに、中国都市部で発生する人為起源の化学物質・有害金属も多く含有される。一方、外洋には、微生物にとっての栄養塩(リンやチッ素など)や必須微量元素(鉄や亜鉛など)が、極めて低濃度になる貧栄養海域が多くある。そのため、海洋に沈着したエアロゾルから溶出した化学成分が、植物プランクトンや細菌などの栄養・必須元素となり、その増殖を促す(図1)。逆に、沈着した有害金属(Cu, Pb など)が微生物の増殖を抑制する場合もある。

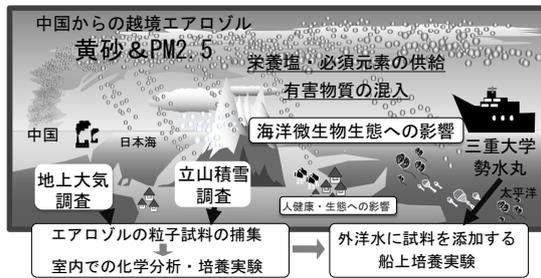


図1 研究背景

現在、合衆国と日本の多くの研究グループが、環境実測データに基づいたモデル計算をすすめており、シミュレーションによる化学的考察が大気・海洋研究の主流となっている。これに対して、申請者らは、黄砂が海洋微生物へ及ぼす影響に関心を持ち、黄砂粒子を、山岳積雪から捕集し、太平洋沖合の海水に添加する船舶洋上実験を実施し、独自の調査・研究を展開してきた。本研究申請の当初、貧栄養海域の海水に黄砂粒子を加えると、粒子から溶出する化学物質によって、珪藻と細菌が増殖促進されることを予備実験で把握していた。しかし、黄砂以外のエアロゾルが及ぼす海洋影響は不明であるとともに、複数回の海洋調査で得られたデータで、微生物の増殖促進を議論する必要があった。昨今、中国沿岸域で発生する人為起源エアロゾル量も増え、その海洋影響評価は極めて重要な課題である。また、影響を受ける植物プランクトンの動態変化の詳細な理解も、地球温暖化予測の精緻化にむけて求められる。

2. 研究の目的

本研究では、太平洋の海水に立山の積雪層より採取した積雪試料に含まれる黄砂粒子および煙霧(汚染)粒子を添加し、海水に含まれる微生物の培養実験を船上で実施した。黄砂粒子は、実際に北太平洋へ沈着する量を推定し、定量・定性的に植物プランク

トン及び細菌へ与える影響を評価した。培養試水中の植物プランクトンと細菌の動態は、クロロフィル a 分析及び超並列シーケンサーを用いた群集構造解析により調べた(図2)。

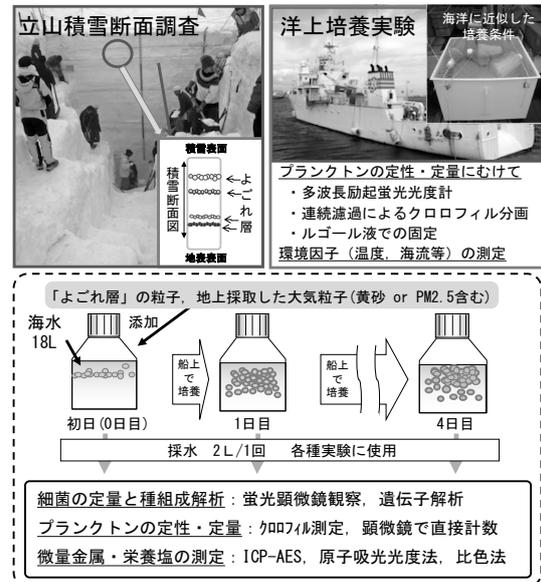


図2 海洋船舶を使った洋上培養実験の計画

3. 研究の方法

1. 立山積雪からのエアロゾル粒子の捕集

春季(4月)に富山県立山室堂平(海拔2450 m:36.58N, 137.60E)の積雪層から黄砂粒子および煙霧(汚染)粒子を含む積雪試料を採取した。採取した積雪試料は、保冷バックに入れ、速やかに研究室へ持ち帰り、 -20°C で冷凍保存した。一部の積雪試料は、孔径 $0.45\ \mu\text{m}$ ポリカーボネートフィルターで濾過し、粒子及び濾液は、それぞれ -20°C で保存した。

2. 捕集した積雪試料の分析

フィルター上の粒子重量及び通液した積雪融解水量から、積雪試料中の粒子密度を算出した。化学成分分析として、ろ液試料は比色法による硝酸態窒素濃度及びリン酸態リン濃度の測定及び誘導結合プラズマ発光分光分析装置を用いた微量元素の測定をし、富山県立大学の協力のもと、別途で鉛直方向に10cm毎に採取した積雪を、イオンクロマトグラフィーによってカルシウム、硝酸塩及び硫酸塩の測定を行い、鉛直方向の各成分濃度分布を求めた。冷凍保存した積雪試料は、DAPI染色計数法により細菌及びその他蛍光粒子の測定をし、gDNAをクロロホルム・フェノール抽出法及びDNA抽出キットにより抽出し、超並列シーケンサーMiSeqを用いて、16SrRNA遺伝子配列(515bp-806bp領域)の約250bpを解析し、細菌の群集構造(種組成)を決定した。

3. 船上培養実験

春季に2回と秋季に2回、太平洋沖合(静岡県沖合(138.45E, 34.03N)あるいは紀伊半島

沖合(138.62E, 33.51N)へ三重大学勢水丸で航海し、洋上にて計4回の船上培養実験を実施した。10Lのポリカーボネート容器に表層海水を採水し、積雪調査で得た黄砂粒子及び液などの試料を異なる条件で添加した後、表層海水を循環させた水槽に浮かべ、2日から3日間培養した。1日毎にサブサンプリングをした。

積雪試料と同様に、海水試料に含まれる硝酸態窒素濃度およびリン酸態リン濃度、微量元素を分析化学的に測定するとともに、DAPI染色によって細菌数を直接計数した。さらに、超並列シーケンサーによる遺伝子解析を使って、細菌群集構造の変化を分析した。植物プランクトンの定量では、精密フィルターで分画した懸濁粒子中のクロロフィルa (Chl.a)濃度を測定するとともに、光学顕微鏡下で珪藻を観察し、種別に直接計数した。

4. 研究成果

1. 風送エアロゾルの成分分析

積雪試料では、黄砂粒子を含む積雪試料で高い粒子密度を示し、カルシウム濃度が高かった。高アルカリ性カルシウムは、中国沙漠地帯の鉱物粒子の指標の一つであり、カルシウム濃度が高い層では、硝酸塩及び硫酸塩の濃度が高くなった。鉄濃度は、それらの積雪層で、比較的高濃度となったが、相関は見られなかった。大気中の硝酸態窒素濃度の増加は黄砂飛来と関連があり、黄砂粒子は中国大陸で硝酸態窒素を吸着して日本に飛来していることが分かった。

2. 風送エアロゾルに含まれる微生物の解析

7年間毎春、積雪断面調査で採取した積雪試料中の鉱物粒子、有機物粒子及び細菌粒子を計数した結果、汚れ層の積雪試料は総粒子密度がおおよそ 5.0×10^5 particles/mL以上であり、細菌数と鉱物粒子数には相関が見られた。総粒子密度が 5.0×10^5 particles/mL以上である積雪試料中の細菌群集構造は、Bacilli綱及びAlphaproteobacteria綱の細菌の相対存在比が5.2%及び1.9%増加しており、Gammaproteobacteria綱及びBetaproteobacteria綱の細菌の相対存在比は4.7%及び3.6%減少していた。つまり、黄砂飛来時にはBacilli綱の細菌が増大し、日本海横断による海洋由来のAlphaproteobacteria綱の細菌も僅かに増大することが示唆された。

3. 船上培養実験：化学物質と植物プランクトンの動態

洋上における4回の船上培養実験において、船上で培養した海水中に含まれる硝酸態窒素、リン酸態リン及びChl.a濃度の動態を測定した。その結果、今回の観測海域では、リン酸態リン濃度が約 $0.23 \mu\text{M}$ とおおよそ一定であったのに対し、硝酸態窒素濃度は春季に約 $0.26 \mu\text{M}$ と低く、秋季には約 $3.0 \mu\text{M}$ まで増

大し、季節に伴い大きく変化した。黄砂粒子と煙霧粒子を含む積雪試料を添加した実験区(黄砂添加区)では、培養開始時の硝酸態窒素濃度が増加し、黄砂粒子を含む積雪試料により硝酸態窒素が供給されたことが分かる。春季の黄砂添加区では、培養期間中に、硝酸態窒素の減少するに従って、Chl.a濃度が増大し、植物プランクトン(珪藻類; *Pseudo-nitzschia* 属と *Chaetoceros* 属)の増殖が光学顕微鏡下で確認された(図3)。鉄濃

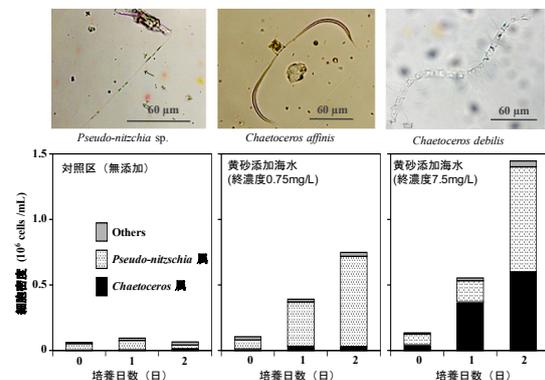


図3 洋上培養した海水中の珪藻の顕微鏡写真とクロロフィル濃度変化

度は、もともとの海域に数十nMのオーダーで推移し、黄砂の添加にともなう鉄濃度の増加は認められなかった。一方、硝酸溶液を添加した実験区(硝酸溶液添加区)でも、Chl.a濃度の増加が見られたため、本海域では、十分量存在すると判断した。今回調査を行った海域では、春季に貧栄養となりやすく、植物プランクトンは硝酸態窒素により生長が抑制されているが、黄砂エアロゾルが沈着することで硝酸態窒素が供給され、植物プランクトンの生長制限が解消されると分かった。細菌群集に関しても、黄砂粒子を含む積雪試料添加による影響が見られた。

3. 船上培養実験：細菌群集構造の変化

黄砂添加区中の細菌群集を網レベルで分類した際、対照区に存在しない細菌群が見つかり、それらは立山積雪試料より検出される細菌群(Saprospirae, Phycisphaeraeなど)が含まれた。しかし、そのすべてが培養に伴い減少しており、海洋環境に適用できなかったと考えられる(図4)。また、黄砂+融解水

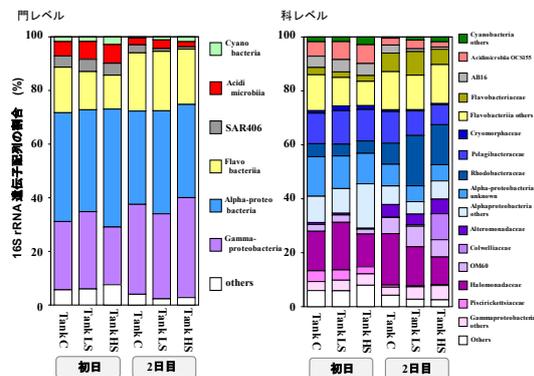


図4 洋上培養した海水中の細菌群集構造の変化; Tank HS: 黄砂添加海水(終濃度7.5mg/L); Tank LS: 黄砂添加海水(終濃度0.75mg/L); Tank C: 対照区(無添加)

添加区では、外洋性細菌（SAR402, Pelagibacterace）及び耐塩細菌（Halomonadaceae）の相対存在比が減少しており、春季に限っては、有機物分解細菌（Rhodobacterace, OM60）の相対存在比が増加した。これらは、積雪試料添加による余剰な栄養塩の供給及び海水の希釈により、外洋性細菌や耐塩細菌の増殖を抑制し、富栄養化に伴い増殖した植物プランクトンが有機物を生成することで、有機物分解細菌の増殖が促進されたと示唆される。

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 27 件）

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) F. Puspitasari, T. Maki, G. Shi, C. Bin, F. Kobayashi, H. Hasegawa, 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-F.
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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, 長谷川 浩, 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.
- 9) 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. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.011>
- 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*, 査読有, 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 (4) (2016) 289-293.
- 16) M. He, T. Ichinose, B. Liu, Y. Song, Y. Yoshida, F. Kobayashi, T. Maki, S. Yoshida, M. Nishikawa, H. Takano, G. Sun, Silica-carrying particulate matter enhances *Bjerkandera adusta*-induced murine lung eosinophilia. *Environ Toxicol*, 査読有, 31 (2016) 93-105.
- 17) 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
- 18) Mochizuki, T., K.Kawamura, K.Aoki, N. Sugimoto, Long-range atmospheric transport of volatile monocarboxylic acids with Asian dust over a high mountain snow site, central Japan, *Atmos. Chem. Phys.*, 16 (2016) 14621-14633. doi:10.5194/acp-16-14621-2016.
- 19) Tyagi, P., K. Kawamura, S. Bikkina, T. Mochizuki, K. Aoki, Hydroxy fatty acids in

- snow pit samples from Mount Tateyama in central Japan: Implications for atmospheric transport of microorganisms and plant waxes associated with Asian dust, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121 (2016) doi:10.1002/2016JD025340.
- 20) Mochizuki, T., K.Kawamura, K.Aoki, Water-Soluble Organic Nitrogen in High Mountain Snow Samples from Central Japan, *Aerosol and Air Quality Research*, 16 (2016) 632-639.
- 21) 渡辺幸一, 平井泰貴, 中川佳祐, 小川厚次, 上原佳敏, 朴木英治, 島田互, 青木一真, 川田邦夫, 弥陀ヶ原火山の噴気活動による立山・室堂平の積雪化学への影響について, *雪氷*, 78 (2016) 307-315.
- 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) Natsuike, M., Yokoyama, K., Nishitani, G., Yamada, Y., Yoshinaga, I., Ishikawa, A. Germination fluctuation of toxic *Alexandrium fundyense* and *A. pacificum* cysts and the relationship with bloom occurrences in Kesenuma Bay, Japan, *Harmful Algae*, 査読有 62 (2017) 52-59. DOI: 10.1016/j.hal.2016.11.018
- 24) 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, doi: 10.3389/fmicb.2017.00867. 2016.5, in press.
- 25) 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, *Atmos. Chem. Phys.*, https://doi.org/10.5194/acp-2017-1172, in press, (2018).
- 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.
- 27) 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, https://doi.org/10.5194/acp-2017-1241, in press, (2018).
- [学会発表] (計 19 件)
- 1) 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 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
- 2) 牧輝弥, 古本翔吾, 朝日祐也, Kevin C. Lee, 渡辺幸一, 青木一真, 村上正隆, 田尻拓也, 岩坂泰信, 立山積雪中に保存される黄砂バイオエアロゾル: 微生物群集構造と氷核活性粒子との関係, 第 11 回大気バイオエアロゾルシンポジウム, 信州大学, 2018 年 2 月 20 日
- 3) T. Maki, Bioaerosol observations in forested area, Ibaraki Univ.-IRSN international workshop on atmospheric radio-caesium and bio-aerosol emission, Library hall in Ibaraki University, Mito, February 19, 2018, 口頭
- 4) 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).
- 5) 牧輝弥, バイオエアロゾル(大気微生物)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).
- 6) 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, 金沢市, 2017 年 2 月 20 日
- 7) 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, 福井大学アカデミーホール, 2016 年 11 月 3 日 (招待講演).
- 8) 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, ラポルトすず, 珠洲市, 2016 年 10 月 28 日 (招待講演).
- 9) 牧輝弥, 笹川修太郎, 石丸佳苗, 長谷川浩, 黒崎泰典, 大西一成, 洪天祥, 陳彬, 岩坂泰信, 黄砂・PM2.5 の沈着地におけるバイオエアロゾルの微生物群集構造の変化, 日本微生物生態学会 第 31 回大会, 横須賀, 2016 年 10 月 23 日
- 10) 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)
- 11) T. Maki, Lecture for the investigation of atmospheric bioaerosols, Third JSPS Seminar, Ulaanbaatar, Mongolia, 11 August 2016 (招待講演)
- 12) 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. Iwasakae, 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)

13) 四本木彰良, 柏山祐一郎, 近藤竜二, 野牧秀隆, 石川輝, 木下雄介, 民秋均, 外洋表層水から分離されたピコ藻類を捕食する無色プロティストとそれらのクロロフィル代謝, 日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会, 日本歯科大学, 2016年3月19日

14) T. Maki, Y. Kurosaki, K. Onishi, N. Yamanaka, M. Shinoda, F. Kobayashi, Y. Iwasaka, Variations in the structure of airborne bacterial communities in Gobi desert area during a dust event, The 8th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall, Lisbon, Portugal, 3 May (1-4 May) 2016.

15) 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, 2016年4月15日 (招待講演).

16) 石川輝, 笠井智頭, 牧輝弥, 黄砂鋇粒子が外洋の植物プランクトン群集の動態に及ぼす影響, 日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会, 熊本県立大学, 2016年9月9日

17) K. Aoki, Long-term and spatial variability of Aerosol optical properties measured by sky radiometer in Japan site, AGU FALL MEETING 2016, San Francisco, USA, 16 December 2016

18) K. Aoki, Temporal and spatial variability of Aerosol optical properties retrieval from sky radiometer observation in Japan site, AeroCom & AeroSAT2016, Beijing, China, 22 September 2016.

19) K. Aoki, Effects of Aerosol optical properties measured by ground-based remote sensing, ISEE-ISES AC2016, Sapporo, Japan, 28 June 2016. (招待講演)

〔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) 石川輝, 石井健一郎, 有害有毒プランクトンの科学, 今井一郎他編, 恒星社厚生閣, 2016年, 全340ページ, *Alexandrium catenella* のシストの発芽と個体群動態, 290-297

〔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://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

石川 輝 (ISHIKAWA Akira)

三重大学生物資源学研究科・教授

研究者番号：00273350

研究分担者

青木 一真 (AOKI Kazuma)

富山大学大学院理工学研究部・教授

研究者番号：90345546