

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H04143

研究課題名(和文) 海洋大気バイオエアロゾルの起源と氷晶核化：蛍光特性で探る生態系・物質・雲のリンク

研究課題名(英文) Origins and ice nucleating abilities of bioaerosols in the marine atmosphere: Links among ecosystems, chemical substances, and clouds explored with fluorescence properties

研究代表者

金谷 有剛 (KANAYA, Yugo)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(地球表層システム研究センター)・センター長

研究者番号：60344305

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,100,000円

研究成果の概要(和文)：海洋地球研究船「みらい」のMR18-06Leg4, 19-03C航海にて、大気バイオエアロゾル粒子・氷晶核数濃度・海洋表層生物活動因子等を総合計測した。中央太平洋では蛍光性バイオ粒子はプランクトン由来の酸性多糖類TEPやバクテリア数と風速との積と正相関し、海洋表層物質の巻き上げによる発生が示された。北極航海での氷晶核数は、蛍光性粒子に加え、風速考慮後のクロロフィルa, TEP, タンパク質性物質CSPとも相関し、海洋生物起源物質が雲へ影響しうることが示唆された。大気化学輸送モデルもこの結果を支持した。一方、過去の北極航海では陸上森林火災影響が主となる場合も見出され、両者の評価が重要とわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

洋上の氷を伴う雲の成因に関して、これまで不明であった、氷晶核となる物質の起源が海なのか陸なのか、候補物質とされてきた一次生物起源粒子(バイオ粒子)との対応関係、大気中のエアロゾル有機物に占めるバイオ粒子の割合や特性が明らかとなり、物質循環と気候科学の両面で、海洋起源バイオ粒子の挙動解明が進展した。洋上の雲の成因の理解と被覆率・反射率の正確なモデル表現は、地球温暖化評価のための気候モデルシミュレーションの性能の根幹にかかわるものであり、今世紀最大の社会的課題ともいわれる気候変動問題の科学を進展させた。

研究成果の概要(英文)：We comprehensively measured atmospheric fluorescent bioaerosol particles, ice nucleating particles (INPs), and ocean-surface biological activity indices during the MR18-06Leg4, 19-03C cruises of research vessel Mirai. In the Central Pacific, number densities of the bioaerosol particles positively correlated with the product of plankton-derived acidic polysaccharide TEP or bacteria and wind velocity, indicating their generation from uplifted ocean-surface substances. Number densities of INPs during the Arctic cruise correlated with fluorescent particles and with chlorophyll-a, TEP, and protein-like substance CSP, after accounting for wind speed, strongly suggesting links between the ocean substances and cloud processes. Our atmospheric chemistry transport model simulations supported the results. We also identified cases from past arctic cruises where terrestrial forest fires dominantly affected; therefore, effects from both terrestrial and marine-origin substances need to be evaluated.

研究分野：大気化学

キーワード：大気海洋物質循環 気候変動 地球環境物質科学 有機エアロゾル 起源 ゲル状有機態粒子 バクテリア 混相雲

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

大気中のエアロゾル粒子のうち、2~5割を占める有機物の大部分は起源が未知であり、生物圏に由来する一次粒子「バイオエアロゾル粒子」も有機物全量に対し寄与をもつと考えられるが、その量や挙動は不明である。また、このバイオ粒子の一部は顕著な氷晶核形成能力をもち、氷雲の生成トリガーとなって、雲降水サイクルや放射収支へ多大な影響を及ぼすと指摘されているが、理解が遅れている。とくに、海洋上大気では、海洋表層の微生物や生物由来の有機物等が風で波飛沫として大気へ巻き上がり、氷晶核化するとの説が提唱されているが、動態解明が遅れている。このような物質循環と気候科学の両面に対する海洋起源バイオ粒子の挙動解明が必要である。

2. 研究の目的

西部北太平洋～北極海を重点対象地域として、1)海洋大気中の蛍光性バイオエアロゾル粒子の時空間分布と氷晶核(INP)生成能を明らかにすること、2)バイオ粒子の起源となる海洋生態系に関する適切な指標(クロロフィル量等)を見出し、大気へのバイオ粒子発生量予測式を構築すること、3)プロセスを大気化学輸送モデルで表現し、インパクト評価を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

(1)計測手法の開発と整備

大気中の蛍光性バイオエアロゾルや氷晶核、海洋生態系に由来する物質の分析手法を開発した。Bioplorerによるオフライン型でのバイオエアロゾル検出法では、核酸染色にはDAPIに加えHoechst試薬を添加する方法を新たに採用することで検出感度を高め、オンライン自家蛍光法と比較できるようにした。サイクロンを用いて粒子を粒径別捕集する方法も実施したが、回収率の評価に課題が残り、染色操作と粒子計数を行う金コートメンブレンフィルターに直接大気中粒子を捕集する方法を用いた。オンライン型の自家蛍光粒子測定装置WIBS-4Aは、2 μ mサイズの蛍光性PSL粒子で校正し、粒子が存在しない場合の自家蛍光強度信号の変動を1 σ とし、3 σ または9 σ を閾値とした解析を行った。280nm励起で310-400nm, 420-650nmの蛍光を発する粒子をそれぞれType A, B、370nm励起で420-650nmの蛍光を発する粒子をType Cと呼び、複合的な蛍光を発する粒子をAB, AC, BC, ABCと定義し、いずれかの蛍光を発した粒子の合計を蛍光性粒子と表記する。氷晶核計測のための大気中粒子のフィルター捕集では、粒径を区分しないバルク方式に加え、Mini-MOUDI多段サンプラを用いて、粒径別の捕集も実施した。氷晶核計測には、水滴凍結法に基づいた実験系であるCRAFT(Tobo, 2016)を採用したが、北極海のような氷晶核の数濃度が低いことが予測される領域においても氷晶核の定量計測ができるように、CRAFTによる氷晶核の計測精度や検出下限を評価して改良した(Tobo et al., 2019)。海洋物質分析では、粘着性があり凝集体となって海表面に滞留しやすい酸性多糖類がゲル状になったプランクトン滲出物であるTEPの測定法に加えて、同様なゲル状粒子であるタンパク質性物質CSPの計測手法を開発し、校正・定量法も合わせて確立した。HPLCによる植物プランクトン色素やフローサイトメトリーによるバクテリアの測定も実施した。時空間変動を解析するための基礎量として、大気エアロゾルのハイボリュームエアサンプラへの捕集と主要イオン・EC/OC分析、大気オゾン・一酸化炭素濃度連続測定を行った。また、表層海水の栄養塩濃度やクロロフィルa(Chl-a)現存量の測定データを使用した。

海洋表層からの海塩粒子およびその有機エアロゾル量をオンラインで計算できるように大気化学輸送モデルを改良した(Ito et al., 2020)。続いて、エアロゾルによる放射効果をオンラインで計算できるように大気化学輸送モデルを改良した(Ito et al., 2021)。最後に、氷晶核数濃度とそのヴェゲナー-ベルシェロン過程による雲放射効果を計算できるように大気化学輸送モデルを改良した。

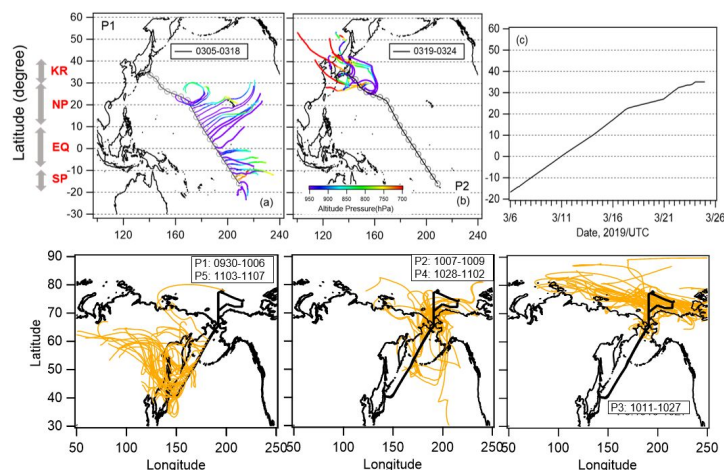


図1. MR18-06Leg4 航海(上)、MR19-03C 航海(下)の航跡と、後方流跡線解析による気塊分類。

(2)航海

海洋地球研究船「みらい」のMR18-06Leg4航海(2019年3月6日~25日、タヒチ・パペーテ~清水)およびMR19-03C航海(2019年9月29日~11月10日、八戸~北極海~八戸)を主な研究調査対象とした(図1)。大気の後方流跡線解析から、MR18-06Leg4航海は、大陸の影響が無視できる洋上大気計測期間(P1, 3/6-18)と、アジア大陸の影響が増した期間(P2, 3/19-24)に大別された(図1上)。大気中PM2.5中の有機炭素、海塩、非海塩性硫酸塩の質量濃度割合は、P1では38%, 30%, 25%であったのに対し、P2では48%, 18%, 26%であった。3/12-14には強風で海塩と有機物が海洋表層から大気へと巻き上げられた可能性が示唆された。海洋表層の栄養塩濃度は赤道域(EQ)で高く、その北部(NP)で低く、黒潮続流域(KR)で再上昇した。

一方、MR19-03Cは、アジア大陸の影響が大きい期間(P1:9/30-10/6, P5:11/3-7)、ベーリング海・チュクチ海のローカルな影響が大きい期間(P2: 10/7-9, P3:10/28-11/2)、北極海上の大気計測期間(P3; 10/10-27)に大別された(図1下)。P1、P5では有機炭素(15-22%)、硫酸塩(28-48%)が主成分であったが、P2、P3では海塩が76-88%と高く、海洋起源エアロゾルが卓越した。P5では土壌起源やバイオマス燃焼の影響がCa²⁺やレボグルコサン濃度の上昇から示唆されたが、他期間では小さかった。

4. 研究成果

(1)MR18-06Leg4(太平洋): 海洋バイオエアロゾルの同定と起源解析

MR18-06Leg4では、WIBS-4Aによって検出された1μm以上の蛍光性粒子数濃度はP1で約30個/L(全粒子の1.3%)であった。図2は、WIBS-4AによるType A、B、C粒子(図2a)、Type AB、AC、BC、ABC粒子(図2b)の個数濃度を、Bioplorer(DNA核染色法)の測定結果と比較したものである。2つの方法から得られた個数濃度間の相関係数は、P1と2の両方で、Type A、B、C粒子について非常に高い(R>0.80)ことがわかった。WIBS-4Aからの蛍光粒子の個数濃度とDNA核染色によって同定された生物起源蛍光粒子の間に強い相関があることから、WIBS-4Aでの自家蛍光に基づくオンライン測定でも、バイオエアロゾルの変動の検出が可能であることが確認された。図2aから、WIBS-4AからのType A、B、C粒子の総数濃度は、Bioplorerから同定されたバイオ粒子とほぼ同じ範囲であったことがわかる。図2bより、複数のバンドで蛍光を発する粒子(Type AB, AC, BC, ABC)については、WIBS-4Aからの個数濃度がBioplorerからの個数濃度より小さいことがわかる。検出サイズ範囲や3σ閾値付近の検出度など、2つの測定方法の違いに伴う不確実性が大きいことも考慮しつつ、両測定値は約2倍の範囲内で一致したと結論づけた。

海洋表層のChl-a、CSPの濃度は、栄養塩濃度の2つのピークに対応し、KR領域と、EQ領域で上昇した。一方、バクテリアとTEP濃度の変動は、EQ域で高濃度となったが、KR域で大きな増加は見られなかった。先行研究では、植物プランクトンの存在を示すChl-aと、植物プランクトンの滲出物から生成されるTEPの間に良好な相関があると報告されているものがあるが、今回の太平洋・外洋域での解析結果では、Chl-aやCSPの変動を制御する要因は、バクテリアとTEPの変動を制御する要因とは異なることが示唆された。我々の結果からは、栄養制限条件下では基礎生産とは対照的にTEP生成が増強されるため、中程度の相関(R: 0.4)にとどまるものと考察された。一部の珪藻やピコシアノバクテリアの場合、栄養不足の水域でTEP生産が増加することが報告されているが、本研究のTEP/Chl-aの比の値は、実際にNP領域で高く、栄養塩が制限された状態の植物プランクトンでは、細胞あたりのTEP生産が高いことが示唆された。一方、CSP濃度は、特にKR領域でChl-a濃度と強い相関を示したが(R: 0.81)、CSPとTEP濃度の相関は弱かった(R: 0.43)。このことから、CSPはTEPとは異なる要因や循環動態(分解など)に支配されている可能性が示唆される。

上記の結果を踏まえ、大気バイオエアロゾルと海洋生態系活動の指標との相関から、バイオエアロゾルの起源を解析した。その際、風による海洋表層からの巻き上げ効果を考慮すべく、風速(WS)を海洋生態系活動の指標に乗じた値との相関を評価した。WIBS-4Aでの蛍光特性別の評価では、Type A+C粒子の個数濃度は、風速とバクテリア濃度の積(R: 0.80)および風速とTEP濃

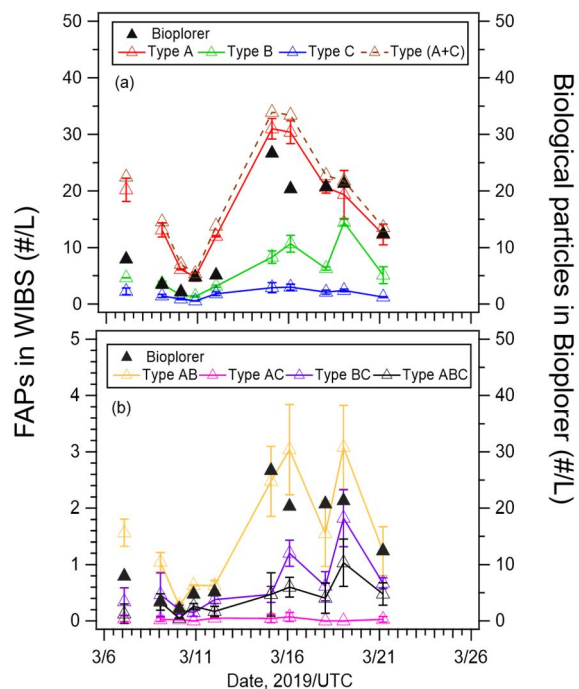


図2. WIBS-4Aでの蛍光性粒子(タイプごと)とBioplorerによるバイオ粒子の変動の比較。

度の積 (R: 0.85) と強い相関を示した。Type B の個数濃度と風速とバクテリア濃度の積 (R: 0.83)、WS と TEP 濃度の積 (R: 0.92) の相関係数は、Type B 粒子の個数濃度と WS のみ (R: 0.36) またはバクテリア濃度のみ (R: -0.26)、TEP 濃度のみ (R: -0.62) との相関係数より高かった。これらの結果から、海洋上の大気バイオエアロゾルの形成では、TEP とバクテリアが主要な因子であることが示唆された。海洋表層に存在する有機物が、風によって、波飛沫の一部として大気中に巻き上げられ、生物起源有機物 (TEPs など) またはバクテリアとの凝集体からなるバイオエアロゾルが形成されたと考えられた。

以上に述べた相関解析の結果から、直交回帰直線によって、P1 の海上大気中の全蛍光性粒子数濃度 y (Type A、B、C、AB、AC、BC、ABC 粒子を含む; バイオエアロゾル) を導き出す予測式を構築した (図 3)。

$$y \text{ (個/L)} = (0.076 \pm 0.014) \times [\text{TEP, } \mu\text{g XGeq L}^{-1}] \times \text{WS (m s}^{-1}) + (5.4 \pm 4.1) \text{ (R: 0.88)} \quad (1)$$

$$y \text{ (個/L)} = (0.0052 \pm 0.0013) \times [\text{バクテリア, cell } \mu\text{L}^{-1}] \times \text{WS (m s}^{-1}) + (9.3 \pm 4.8) \text{ (R: 0.80)} \quad (2)$$

$$y \text{ (個/L)} = (20.0 \pm 19.0) - [\text{Chl-a, mg m}^{-3}] - \text{WS (m s}^{-1}) + (0.29 \pm 25) \text{ (R: 0.47)} \quad (3)$$

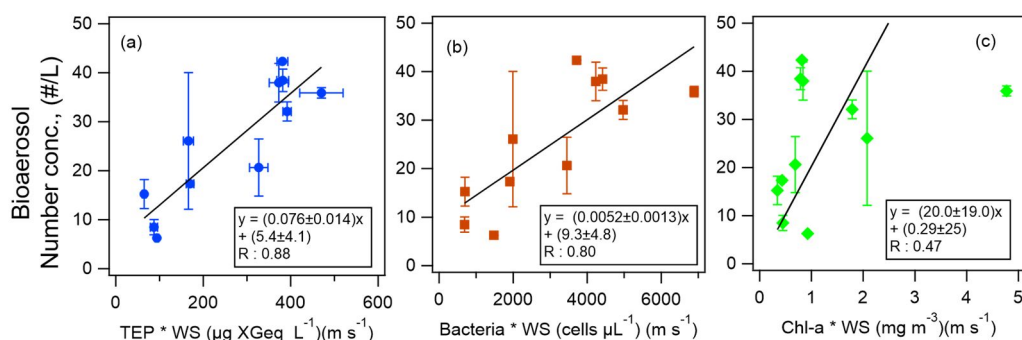


図 3. 西太平洋低緯度域における大気バイオエアロゾル数濃度と(a)海洋表層の TEP 濃度と風速の積、(b)バクテリア数と風速の積、(c)Chl-a と風速の積との間の相関。

ここで、[TEP]、[バクテリア]、[Chl-a]は、P1 期間の表層海水中の TEP、バクテリア、Chl-a の濃度である。大気中バイオエアロゾル数濃度と Chl-a 濃度の相関係数は、大気中バイオエアロゾル数濃度と TEP またはバクテリア濃度の相関係数より低いが、Chl-a データは TEP またはバクテリアのデータより容易に入手できるので、式 (3) は式 (1)、(2) より有用性が高い。これらの式は、太平洋外洋上のバイオエアロゾル数濃度を推定し、有機エアロゾルの詳細な組成評価やエアロゾル特性評価を行う目的で使用できる。また、バイオエアロゾル量の推定に他のパラメータ表現が使用されている大気化学輸送モデルの検証のためにも用いることができる。以上の結果は Kawana et al. (2021) に詳述されている。

(2)MR19-03C (北極航海): 海洋バイオエアロゾルと起源、INP との関係性

北極航海 MR19-03C では、ベーリング海で Chl-a 現存量が 1.0 mg/m^3 程度まで高まり、TEP と CSP の間の正相関が高く、秋季ブルームの状況を捉えたものと考えられた。とくにベーリング海峡北部 (70°N 付近) を通過した 10/9-10、10/28 に、Chl-a、TEP、CSP すべてが極大を示した。P2-4 の期間のデータについて、WIBS で測定された蛍光性エアロゾルと各種海洋生態系因子の相関を解析したところ、MR18-06Leg4 と同様に $1\text{-}2.5\mu\text{m}$ の粒子の場合のほうが $2.5\mu\text{m}$ 以上の粒子の場合よりも相関係数が高い傾向が見出された ($R=0.77\text{--}0.86$) (表 1)。相関係数は風速を考慮しない場合の値 ($R=0.42\text{--}0.71$) より高かった。

INP 数濃度 (サイズ区分していないバルクの数濃度) は P2-4 の期間で $N_{\text{INP},-30^\circ\text{C}}$ の値で $2\text{-}22$ 個/L の範囲であった。INP と蛍光性粒子との間の相関係数は、 $N_{\text{INP},-24^\circ\text{C}}$ と、 $1\text{-}2.5\mu\text{m}$ 、 $2.5\mu\text{m}$ 以上の蛍光性粒子との間で、いずれも $0.6\text{-}0.8$ 程度と高く、主要な成分である Type A、B についても同様であり、蛍光性粒子の一部が INP と対応している可能性が示唆された。P1、P5 のデータも加えても相関係数の結果に大きな差はなかった。

さらに、海洋生態系因子と INP の間にも強い正相関が見出された。風速を考慮した場合で、TEP、CSP、Chl-a と $N_{\text{INP},-24^\circ\text{C}}$ との相関係数は 0.74 、 0.79 、 0.74 であった。このように、海洋生態系因子・大気蛍光性バイオ粒子・氷晶核数の三者の間でどの組み合わせでも高い相関係数が得られたことから、 $N_{\text{INP},-24^\circ\text{C}}$ は海洋生物起源物質の影響を強く受けていることが示唆された。

MR19-03C では、Mini-MOUDI 多段サンブラを用いて捕集された試料を分析することで、 $0.056\text{--}10\mu\text{m}$ のサイズ区分における氷晶核数濃度を調べた。その結果、ベーリング海における氷晶核の多くは、 $1\mu\text{m}$ 以上の粒子であったことが確認された。

また、過去に実施した北極航海 (MR16-06; 2016 年 8 月 22 日 ~ 10 月 5 日、八戸 ~ むつ) についても、INP 濃度と蛍光性粒子濃度 (この場合のみ 9σ を閾値として利用) およびエアロゾル成分

表 1. MR19-03C 北極航海の P2-P4 期間における海洋生態系因子と大気中蛍光性粒子、および氷晶核数濃度との間の相関係数。

	FL particles							
	FL 1-2.5 μ m	FL >2.5 μ m	Type A (>2.5 μ m)	Type B (>2.5 μ m)	Type C (>2.5 μ m)	Type AB (>2.5 μ m)	Type BC (>2.5 μ m)	Type ABC (>2.5 μ m)
Arctic-Bering								
TEP \times WS ²	0.86	0.68						
CSP \times WS ²	0.77	0.46						
Chl-a \times WS ²	0.79	0.55						
N _{INP, -18C}	0.45	0.65	0.36	0.62	0.09	0.36	0.51	0.34
N _{INP, -24C}	0.79	0.68	0.58	0.70	0.44	0.39	0.37	0.62
N _{INP, -30C}	0.64	0.75	0.76	0.86	0.68	0.59	0.57	0.48
Bioindicators								
			TEP \times WS ²	CSP \times WS ²	Chl-a \times WS ²			
Arctic-Bering								
N _{INP, -18C}			0.21	0.20	0.17			
N _{INP, -24C}			0.74	0.79	0.74			
N _{INP, -30C}			0.45	0.43	0.41			

濃度との比較を行った。ベーリング海上で観測された高濃度の INP に着目し、トレーサーと複合的な解析を行ったところ、高温 (>-15) で形成する INP 数濃度 N_{INP, -15°C} には、シベリアの大規模な森林火災の長距離輸送に加えて、海洋生態系からの起源物質も影響していることが示唆された。

なお、MR19-03C では、INP に加えて CCN についても同時に計測された。CCN 数濃度は P2-4 期間で 36-139 個/cc(過飽和度 0.4%)であった。時空間変動の傾向としては、INP 数濃度と正相関し、CCN/INP 比は 1000 ~ 10000 程度の範囲であった。CCN と INP が同時に計測され、活性化パラメータなどの詳細な情報が合わせて得られた事例は現在でも非常に少なく、数値モデル等の評価にとって重要な知見となる。

(3)数値モデルを用いたバイオ粒子の重要性評価

大気化学輸送モデルを用い、海洋表層から供給される海塩粒子、その有機物含有量およびその氷晶核数濃度の分布を算出し、観測データに対するバイオ粒子の重要性を評価し、雲・放射へのインパクトを計算した。

数値モデルの感度実験結果からも、北極海域の観測結果で示されている有機エアロゾル濃度の上昇および氷晶核数濃度の上昇が推定された。2016 年の北極航海 (MR16-06) については、これらの上昇は主に、森林火災起源物質が海上にまで広がった影響であることが推定された。一方、2019 年の北極航海 (MR19-03C) では、2016 年より後の秋の季節時期の観測であったこともあり、森林火災の影響は小さく、氷晶核数濃度の上昇は、海洋生物起源物質の影響を強く受けたものと推定された。この数値モデルの推定結果は、(2)で述べた MR19-03C の観測データの解析結果と整合的である。

このように、北極海上大気において、有機エアロゾル濃度や氷晶核数濃度の上昇、およびヴェゲナー-ベルシェロン過程等によって雲放射効果へ与えるインパクトの観点で、陸上由来物質と海洋生物起源物質のどちらが重要であるかは、解析の期間によって異なることが分かった。また、両者の寄与を合わせて評価することが重要であると示唆された。今後の展望としては、海洋大気で観測された氷晶核数濃度をより正確に再現するために、陸上および海洋由来のエアロゾルの影響を、それぞれのトレーサーを用いるなどして、より正確に見積もることが重要と考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 20件／うち国際共著 11件／うちオープンアクセス 16件）

1. 著者名 Ito Akinori, Perron Morgane M. G., Proemse Bernadette C., Strzelec Michal, Gault-Ringold Melanie, Boyd Philip W., Bowie Andrew R.	4. 巻 7
2. 論文標題 Evaluation of aerosol iron solubility over Australian coastal regions based on inverse modeling: implications of bushfires on bioaccessible iron concentrations in the Southern Hemisphere	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40645-020-00357-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 金谷 有剛	4. 巻 67
2. 論文標題 分光学的手法を用いた観測によるアジア大気汚染の統合的理解の推進	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 天気	6. 最初と最後の頁 519 ~ 529
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24761/tenki.67.9_519	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Ito Akinori, Adebisi Adeyemi A., Huang Yue, Kok Jasper F.	4. 巻 21
2. 論文標題 Less atmospheric radiative heating by dust due to the synergy of coarser size and aspherical shape	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 16869 ~ 16891
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/acp-21-16869-2021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Kawana Kaori, Matsumoto Kazuhiko, Taketani Fumikazu, Miyakawa Takuma, Kanaya Yugo	4. 巻 21
2. 論文標題 Fluorescent biological aerosol particles over the central Pacific Ocean: covariation with ocean surface biological activity indicators	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 15969 ~ 15983
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/acp-21-15969-2021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Inoue Jun, Toba Yutaka, Taketani Fumikazu, Sato Kazutoshi	4. 巻 48
2. 論文標題 Oceanic Supply of Ice Nucleating Particles and Its Effect on Ice Cloud Formation: A Case Study in the Arctic Ocean During a Cold Air Outbreak in Early Winter	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021gl094646	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Inoue Jun, Toba Yutaka, Sato Kazutoshi, Taketani Fumikazu, Maturilli Marion	4. 巻 14
2. 論文標題 Application of cloud particle sensor sondes for estimating the number concentration of cloud water droplets and liquid water content: case studies in the Arctic region	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmospheric Measurement Techniques	6. 最初と最後の頁 4971 ~ 4987
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/amt-14-4971-2021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kawai Kei, Matsui Hitoshi, Toba Yutaka	4. 巻 126
2. 論文標題 High Potential of Asian Dust to Act as Ice Nucleating Particles in Mixed Phase Clouds Simulated With a Global Aerosol Climate Model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020jd034263	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Toba Yutaka, Uetake Jun, Matsui Hitoshi, Moteki Nobuhiro, Uji Yasushi, Iwamoto Yoko, Miura Kazuhiko, Misumi Ryohei	4. 巻 125
2. 論文標題 Seasonal Trends of Atmospheric Ice Nucleating Particles Over Tokyo	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JD033658	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kanaya Yugo, Miyazaki Kazuyuki, Taketani Fumikazu, Miyakawa Takuma, Takashima Hisahiro, Komazaki Yuichi, Pan Xiaole, Kato Saki, Sudo Kengo, Sekiya Takashi, Inoue Jun, Sato Kazutoshi, Oshima Kazuhiro	4. 巻 19
2. 論文標題 Ozone and carbon monoxide observations over open oceans on R/V Mirai from 67 °S to 75 °N during 2012 to 2017: testing global chemical reanalysis in terms of Arctic processes, low ozone levels at low latitudes, and pollution transport	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 7233 ~ 7254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-19-7233-2019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 金谷有剛、竹谷文一、宮川拓真	4. 巻 24
2. 論文標題 大気中蛍光性バイオエアロゾル粒子のオンライン計測	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地球環境	6. 最初と最後の頁 53 ~ 61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Taketani Fumikazu, Aita Maki N., Yamaji Kazuyo, Sekiya Takashi, Ikeda Kohei, Sasaoka Kosei, Hashioka Taketo, Honda Makio C., Matsumoto Kazuhiko, Kanaya Yugo	4. 巻 8
2. 論文標題 Seasonal Response of North Western Pacific Marine Ecosystems to Deposition of Atmospheric Inorganic Nitrogen Compounds from East Asia	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 9324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-27523-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tobo Yutaka, Adachi Kouji, DeMott Paul J., Hill Thomas C. J., Hamilton Douglas S., Mahowald Natalie M., Nagatsuka Naoko, Ohata Sho, Uetake Jun, Kondo Yutaka, Koike Makoto	4. 巻 12
2. 論文標題 Glacially sourced dust as a potentially significant source of ice nucleating particles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Geoscience	6. 最初と最後の頁 253 ~ 258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41561-019-0314-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 DeMott Paul J., Mason Ryan H., McCluskey Christina S., Hill Thomas C. J., Perkins Russell J., Desyaterik Yury, Bertram Allan K., Trueblood Jonathan V., Grassian Vicki H., Qiu Yuqing, Molinero Valeria, Tobo Yutaka, Sultana Camille M., Lee Christopher, Prather Kimberly A.	4. 巻 20
2. 論文標題 Ice nucleation by particles containing long-chain fatty acids of relevance to freezing by sea spray aerosols	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Environmental Science: Processes & Impacts	6. 最初と最後の頁 1559 ~ 1569
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8EM00386F	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計51件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 19件)

1. 発表者名 當房 豊
2. 発表標題 北極の大気中でみられるバイオエアロゾルの起源について
3. 学会等名 R01S若手+ベテラン異分野クロストーク
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 當房 豊
2. 発表標題 北極域でのエアロゾル - 雲相互作用
3. 学会等名 地球惑星システム科学セミナー (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tobo, Y., Matsui, H., Kawai, K., Ohata, S., Kondo, Y., Hermansen, O., Inoue, J., Koike, M.
2. 発表標題 Year-round measurements of ice nucleating particles in Svalbard during MOSAiC 2019/20
3. 学会等名 12th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tobo, Y.
2. 発表標題 Introduction of aerosol and cloud research contributors from Japan during MOSAiC
3. 学会等名 Svalbard/MOSAiC workshop on snow, sea-ice and aerosol interactions in the Arctic (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tobo, Y.
2. 発表標題 Variability of aerosols related to cloud formation over the Svalbard reg
3. 学会等名 11th Ice Nucleation Colloquium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 當房 豊
2. 発表標題 スヴァールバル諸島・Zeppelin山における雲凝結核・氷晶核の研究
3. 学会等名 気候物質科学セミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤 彰記, Kok Jasper F.
2. 発表標題 観測データに基づいた鉱物ダストによる放射効果の全球モデル研究
3. 学会等名 日本気象学会2020年度春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤 彰記, Perron Morgane, Proemse Bernadette, Strzelec Michal, Gault-Ringold Melanie, Boyd Philip, Bowie Andrew
2. 発表標題 オーストラリア沿岸地域における海洋地球研究船での大気エアロゾル観測データを用いた大気化学輸送モデル「IMPACT」の評価
3. 学会等名 第61回大気環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ito, A., Adebiyi Adeyemi A., Huang Yue, Kok Jasper F.
2. 発表標題 Coarse dust aerosol radiative effect in the IMPACT model
3. 学会等名 GU fall meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ito, A., Adebiyi Adeyemi A., Huang Yue, Kok Jasper F.
2. 発表標題 Atmospheric radiative heating due to aspherical coarse dust
3. 学会等名 Goldshmidt 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤 彰記, 宮崎 雄三, 竹谷 文一, 岩本 洋子, 金谷 有剛, 西岡 純
2. 発表標題 大気化学の将来構想：人新世における海洋エアロゾル・生物の気候フィードバック
3. 学会等名 第26回大気化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川名華織、竹谷文一、松本和彦、宮川拓真、金谷有剛
2. 発表標題 春季中部太平洋域における生物起源蛍光性粒子の時空間分布および蛍光パターン
3. 学会等名 日本気象学会2020年度春季大会（オンライン）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮川拓真、竹谷文一、當房豊、松本和彦、吉末百花、滝川雅之、金谷有剛
2. 発表標題 2017年夏季の南大洋におけるエアロゾル粒子の船舶観測
3. 学会等名 第37回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川名華織、松本和彦、竹谷文一、宮川拓真、金谷有剛
2. 発表標題 春季の中部太平洋域におけるバイオエアロゾルの時空間分布および起源同定
3. 学会等名 第25回大気化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kaori Kawana, Fumikazu Taketani, Kazuhiko Matsumoto, Takuma Miyakawa, Yutaka Tobo, Yoko Iwamoto, Akinori Ito, Yugo Kanaya
2. 発表標題 Geographic distribution of marine bioaerosols and roles of biological gel particles over the Arctic Ocean
3. 学会等名 AGU 2020 Fall Meeting (online) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Kaori Kawana, Fumikazu Taketani, Kazuhiko Matsumoto, Takuma Miyakawa, Yutaka Tobo, Yoko Iwamoto, Akinori Ito, Yugo Kanaya
2 . 発表標題 Geographic distribution of fluorescent bioaerosols and roles of marine biological particles in the cloud processes over the Arctic Ocean
3 . 学会等名 4th PACES Open Science Meeting, online (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Yugo Kanaya, Kazuyuki Miyazaki, Fumikazu Taketani, Takuma Miyakawa, Hisahiro Takashima, Xiaole Pan, Saki Kato, Kengo Sudo, Takashi Sekiya, Jun Inoue, Kazutoshi Sato, Kazuhiro Oshima
2 . 発表標題 Ozone and CO observations over open oceans on R/V Mirai from 67S to 75N during 2012-17: Testing global chemical reanalysis TCR-2 in terms of Arctic processes and low ozone levels at low latitudes
3 . 学会等名 16th IGAC Science Conference, online (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 F. Taketani, M. N. Aita, T. Sekiya, K. Yamaji, K. Ikeda, K. Matsumoto, M. C. Honda, K. Sasaoka, Y. Kanaya
2 . 発表標題 Impact Assessment of Deposition of Atmospheric Nitrogen Compounds to the Surface Chlorophyll-a Concentration over Northwestern Pacific Ocean
3 . 学会等名 PICES 2021 virtual Annual meeting (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 F. Taketani, T. Miyakawa, M. Takigawa, M. Yamaguchi, Y. Komazaki, P. Mordovskoi, H. Takashima, Y. Tobo, Y. Tohjima, E. Akane, T. Kikuchi, Y. Kanaya
2 . 発表標題 Ship-based observations of atmospheric aerosols and gases over the Arctic Ocean by R/V Mirai
3 . 学会等名 Joint International Symposium: To the New Stage of Collaboration (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 Kaori Kawana, Fumikazu Taketani, Kazuhiko Matsumoto, Takuma Miyakawa, Yutaka Tobo, Yoko Iwamoto, Akinori Ito, Yugo Kanaya
2. 発表標題 Geographic distribution of fluorescent bioaerosols and roles of marine biological particles in the cloud processes over the Arctic Ocean
3. 学会等名 16th International global atmospheric chemistry (IGAC) conference ((国際学会))
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮川拓真, 竹谷文一, 駒崎雄一, 角谷麻奈未, Choi Yongjoo, 滝川雅之, 高島久洋, 朱春茂, 金谷有剛
2. 発表標題 海洋地球研究船「みらい」による 広域の海洋大気微小エアロゾル観測
3. 学会等名 第26回大気化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kaori Kawana, Fumikazu Taketani, Takuma Miyakawa, Yugo Kanaya
2. 発表標題 Measurements of fluorescent aerosol particles over the North Pacific and the Indian Ocean
3. 学会等名 SOLAS Open Science Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yugo Kanaya, Hisahiro Takashima, Saki Kato, Kazuyuki Miyazaki, Fumikazu Taketani, Takuma Miyakawa, Kengo Sudo
2. 発表標題 Comprehensive over-ocean atmospheric ozone measurements on R/V Mirai from 67°S to 75°N, during 2012-2017: Missing sink linked to Iodine chemistry in low latitudes
3. 学会等名 SOLAS Open Science Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fumikazu Taketani, S. Kato, T. Miyakawa, M. Takigawa, M. Yamaguchi, H. Takashima, Y. Kanaya
2. 発表標題 Investigation of Atmospheric Aerosol Particles and gases by R/V Mirai cruise over the Arctic Ocean on 2017
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yugo Kanaya, Oleg Postlyakov, Alexander Borovsky, Anatoly Dzhola, Evgeny Grechko, Takuma Miyakawa, Petr Mordovskoi, Trofim Maximov, Fumikazu Taketani, Hideki Kobayashi, Yongwon Kim, Chunmao Zhu, Yutaka Tobo
2. 発表標題 北方圏の温暖化と森林火災：大気組成変動と地球表層システム変化
3. 学会等名 iLEAPS/IGAC-Japan 合同研究集会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤彰記, 宮川 拓真, 竹谷 文一, 金谷 有剛
2. 発表標題 海洋地球研究船「みらい」での大気エアロゾル観測データを用いた大気化学輸送モデル「IMPACT」の評価
3. 学会等名 第60回大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金谷有剛
2. 発表標題 分光学的手法を用いた観測によるアジア大気汚染の統合的理解の推進 日本気象学会堀内賞 受賞記念講演
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 彰記, 宮川 拓真, 竹谷 文一, 金谷 有剛, 當房 豊
2. 発表標題 海洋地球研究船「みらい」での大気観測データと大気化学輸送モデル「IMPACT」を用いた氷晶核の起源推定
3. 学会等名 第24回大気化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kaori Kawana, Fumikazu Taketani, Kazuhiko Matsumoto, Takuma Miyakawa, Akinori Ito, Yutaka Tobo, Yugo Kanaya
2. 発表標題 Measurement of number concentrations of Bioaerosols in the Central Pacific and classification of fluorescent particles
3. 学会等名 Workshop on Atmospheric deposition of aerosols and their effects on biogeochemical cycles and climate (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮川拓真、金谷有剛、竹谷文一、松本和彦、吉末百花
2. 発表標題 蛍光染色に基づく海洋上のバイオエアロゾル観測
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 F. Taketani, T. Miyakawa, M. Takigawa, M. Yamaguchi, H. Takashima, P. Mordovskoi, Y. Komazaki, Y. Tohjima, Y. Kanaya
2. 発表標題 Characteristics of Atmospheric Aerosol Particles and gases observed by R/V Mirai over the Bering Sea and Arctic Ocean during September 2016
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuma Miyakawa, Fumikazu Taketani, Masayuki Takigawa, Chunmao Zhu, Kazuhiko Matsumoto, Yutaka Tobo, Momoka Yoshizue, Yugo Kanaya
2. 発表標題 Aerosol Particle Size Distributions and Compositions over the Southern Ocean in the Austral Summer of 2017
3. 学会等名 10th International Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuma Miyakawa, Fumikazu Taketani, Masayuki Takigawa, Chunmao Zhu, Kazuhiko Matsumoto, Yutaka Tobo, Momoka Yoshizue, Yugo Kanaya
2. 発表標題 Aerosol Particle Size Distributions and Compositions over the Southern Ocean in the Austral Summer of 2017
3. 学会等名 2018 joint 14th Quadrennial iCACGP Symposium and 15th IGAC Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金谷有剛、竹谷文一、宮川拓真、高島久洋、加藤咲、本多牧生、松本和彦、笹岡晃征、宮崎和幸、相田真希、伊藤彰記、関谷高志、山地一代、池田恒平、滝川雅之、山口将大、朱春茂、川名華織、當房豊
2. 発表標題 「みらい」での海洋大気組成観測：オゾン未知過程と蛍光性バイオエアロゾルの解析
3. 学会等名 寒冷圏大気-海洋間の生物地球化学的相互作用に関する研究集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮川拓真、竹谷文一、金谷有剛、松本和彦、滝川雅之、當房豊、吉末百花
2. 発表標題 南大洋における大気エアロゾル粒子の動態 雲粒生成に関連して
3. 学会等名 ブルーアースサイエンス・テク2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川名華織、竹谷文一、宮川拓真、金谷有剛
2. 発表標題 北部太平洋・インド洋におけるエアロゾル中蛍光性粒子の連続観測
3. 学会等名 ブルーアースサイエンス・テク2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>本科研費プロジェクト成果発信用webページ https://ebcrpa.jamstec.go.jp/~yugo/mba/index.html JAMSTEC地球表層システム研究センター 物質循環・人間圏研究グループ webページ https://www.jamstec.go.jp/egcr/j/atmos/</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	伊藤 彰記 (ITO Akinori) (00419144)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(環境変動予測研究センター)・主任研究員 (82706)	
研究分担者	宮川 拓真 (MIYAKAWA Takuma) (30707568)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(地球表層システム研究センター)・副主任研究員 (82706)	
研究分担者	松本 和彦 (MATSUMOTO Kazuhiko) (50359155)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(地球表層システム研究センター)・准研究主任 (82706)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	竹谷 文一 (TAKETANI Fumikazu) (50377785)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(地球表層システム研究センター)・主任研究員 (82706)	
研究分担者	當房 豊 (TOBO Yutaka) (60572766)	国立極地研究所・研究教育系・准教授 (62611)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	朱 春茂 (ZHU Chunmao) (00807513)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(地球表層システム研究センター)・研究員 (82706)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	University of California	NASA Goddard Institute for Space Studies	Columbia University	
オーストラリア	University of Tasmania			