

令和元年5月13日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02806

研究課題名(和文) 南極沿岸域の炭素質エアロゾル：低中緯度域からの輸送とその起源

研究課題名(英文) Carbonaceous aerosols at Antarctic coasts: Transport from mid-latitudes and origins

研究代表者

原 圭一郎 (Hara, Keiichiro)

福岡大学・理学部・助教

研究者番号：10390593

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：炭素質エアロゾルの連続観測を南極沿岸部・周辺海域で実施した。2005-2016年の昭和基地では、ブラックカーボン(BC)濃度レベルは検出限界(0.2 ng m<sup>-3</sup>)～63.8 ng m<sup>-3</sup>で、明瞭な経年トレンドは確認されなかった。昭和基地のBC濃度は、9-10月に極大を示す季節変化を示し、南米・アフリカ南部のバイオマス燃焼の影響を強く受けていた。南極沿岸部のBCは、主に南米・アフリカから対流圏下層を經由して輸送されていた。光吸収オンゲストローム指数の季節変化は、大気中でのBC混合状態の変化、バイオマス燃焼や海洋生物活動起源の有機エアロゾルに関係していた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

南極における燃焼起源の炭素質エアロゾルの動態を観測とモデルを使用して研究を進めた。本研究で得られた成果・知見は、低・中緯度域から南極域への大気微量成分の長距離輸送経路・過程を検討する際に非常に重要となる。さらに観測とモデル研究の比較を進めた結果、燃焼起源エアロゾルの再現精度を上げられたため、今後のモデルによる予測の信頼性を向上させられた。

研究成果の概要(英文)：Measurements of carbonaceous aerosols were conducted in the Antarctic coasts and southern ocean. Black carbon (BC) concentrations at Syowa Station ranged in <0.2-63.8 ng m<sup>-3</sup> (median, 1.8 ng m<sup>-3</sup>; mean, 2.7 ng m<sup>-3</sup>) in 2005-2016 and had maximum in September-October. No long-term trend of BC concentrations was clear during our measurement period. Seasonal features of EBC concentrations showed a maximum in September-October. BC was originated from biomass burning and combustion of fossil fuels in South America and southern Africa. BC at the Antarctic coasts were transported from South America and southern Africa mostly via lower troposphere and partly via upper troposphere and downward motion in the Antarctic Circle. The absorption Angstrom exponent (AAE) showed clear seasonal features and was associated with mixing states of BC and organic aerosols supplied from biomass burning and oceanic bio-activity.

研究分野：大気化学

キーワード：炭素質エアロゾル 南極 ブラックカーボン バイオマス燃焼 長距離輸送

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

炭素質エアロゾルは対流圏中の主要なエアロゾルの一つであり、不完全燃焼由来の黒色の粒子状炭素(黒色炭素:BC)や、燃焼過程や生物活動由来の粒子状有機物(OC)で構成されている。BCは強い光吸収性を有するため、BCの空間分布、循環過程、大気放射への影響について各地で観測がなされるようになってきた。また、OCは可視～近紫外の波長領域で光吸収性を有するため、大気化学過程だけではなく、光学特性にも非常に重要である。しかしながら、炭素質エアロゾルによる放射強制力は、BCやOCの発生源の寄与の違いによって大きく異なることが先行研究で指摘されており(Hansen et al., 2005)、炭素質エアロゾルによる放射影響の理解を複雑にさせている。さらに、極域ではBC沈着による雪氷面のアルベド変化が放射収支へ影響を与える(Brandt et al., JGR, 2011)。これらの影響を正確に見積もるためには、まず観測的に炭素質エアロゾル(BC・OC)の変化と分布を正確に捉えること必須となる。

南半球では、南半球諸国の経済発展に伴う人間活動起源物質の放出量増加が懸念されているものの、北半球と比べるとBCの観測拠点は圧倒的に少なく、中でも南半球の高緯度域(南極域および周辺海域)での観測データは非常に希少なのが現状である。南極域でのBC越冬観測は、昭和基地(Hara et al., JGR, 2010; 南極資料2010)、South Pole(Bodhaine, JGR, 1995)、Halley(Wolff and Cachier, JGR, 1998)、Ferraz(Pereira et al., JGR, 2006)、Troll(Fiebig et al., GRL, 2009)、Neumayer(Weller et al., ACP, 2013)で実施され、BC濃度と季節変化について示された程度に過ぎない。また、南極周辺海域上のBC分布は十分に得られていない。さらに、OCの南極越冬観測例は極めて少ない(Kawamura et al., JGR, 1996; Kobayashi et al., PMG, 2002)。南極圏内での燃焼過程は、観測基地での観測活動、観測基地維持のための夏季の船舶・航空機の運用、夏季に行われる南極半島付近への観光ツアーのみであり、広大な南極域内の燃焼起源物質発生量は非常に少ない。そのため、南極域に存在するBCなどの燃焼起源物質は低中緯度域から南極域へ長距離輸送により供給されていることが予想される。さらに、OCについては、上記の燃焼過程に加え、海洋生物活動からも放出されることが示唆されている(Meskhidze and Nenes, Science, 2006)。しかしながら、南極大気中の炭素質エアロゾルの起源、発生地域、南極域への輸送過程については、わずかな定性的な評価をなされたに過ぎず、大気中の物質循環、放射収支、アイスコア解釈などの観点からも、その実態解明・評価が強く求められている。

### 2. 研究の目的

炭素質エアロゾルは対流圏エアロゾルの主成分の一つであり、強い光吸収性を有する。その光学特性は発生源の違いにより大きく異なるため、炭素質エアロゾルによる放射影響の理解をさらに複雑にさせている。南極域では燃焼起源物質の放出強度は極めて低く、南極大気中に存在する炭素質エアロゾルは、低・中緯度域からの長距離輸送で供給されていると予想される。本研究では、南極昭和基地・砕氷艦しらせにおいてエアロゾル観測を実施し、南極沿岸域～周辺海域の炭素質エアロゾルの分布・季節変化を捉え、CHASERモデルによる再現実験と比較し、その発生源・発生地域の評価および輸送過程に関して新たな知見を得ることを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) BC連続観測・解析

BCの連続観測は、南極昭和基地、しらせ船上(オーストラリア～昭和基地間)で行った。南極昭和基地でのBC観測には、高感度観測仕様の多波長型エサロメータ(AE31, Magee Sci.)とMulti-Angle Absorption Photometer(MAAP)を使用し、しらせ船上では、多波長型エサロメータ(AE31, Magee Sci.)を用いて観測を実施した。局所汚染データは、同時に観測が行われている気象データ(気象庁)、凝結核数濃度( $D > 10\text{nm}$ )データを参照して、解析・考察前に削除した。エサロメータで得られたBC濃度は、Weingartner et al. (JAS, 2003)により提案された解析方法で濃度補正を行った。

#### (2) 南極昭和基地での炭素質エアロゾル(EC/OC)サンプリングと分析

エサロメータ、MAAPで観測されたBCデータの質を確認するため、ハイボリュームエアサンプラー(HV-500, Shibata)を用いて、EC/OC分析用のサンプリングを実施した。局所汚染の影響を避けるため、ウインドセクターを用いて、清浄な条件のみ大気吸引をした。越冬隊員にサンプリング保守を委託したため、サンプリングは、57、59次隊(2015年2月-2015年12月、2016年2月-2016年11月)で実施した。得られた試料は、カーボンエアロゾル分析装置(CAA-202M-D, Sunset)により、燃焼法でEC/OC濃度を測定した。

#### (3) 過去に得られたBCデータの再解析と比較

本研究課題以前に得られたBCデータ(昭和基地, H. 17年以降; しらせ, H21年以降)を再解析し、昭和基地でモニタリング観測されているCO、CO<sub>2</sub>データと比較を実施した。

#### (4) 気象場・トラジェクトリーによる空気塊の履歴解析

NOAAのHYSPLITモデルを使用して120時間後方流跡線の解析を行った。2005年-2015年の期間について解析を実施し、BC観測データと比較し、空気塊の起源・輸送経路別のBC濃度を比較した。

#### (5) CHASERモデルによる炭素質エアロゾルの再現実験

観測で得られたBC濃度とモデルで計算されたBC濃度の比較を行い、CHASERモデルによる南極沿岸域のBC濃度再現精度を向上させた。その後、タグ付きトレーサー解析を用いて、南極域へ

輸送される炭素質エアロゾルの起源、発生地域及び輸送過程の評価を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) BC・EC観測データの相互比較

光学的な観測で得られたBC濃度の信頼性を確認するため、燃焼法で測定されたEC濃度との比較を行った。北極域で行われた先行研究 (Sharma et al., ACP, 2017)と同様にBC濃度はEC濃度より高めに出る傾向が確認されたが、得られた濃度レベルはよく一致していた。BCの光吸収を利用し、フィルター法でBC濃度を連続観測するエサロメータとMAAPで測定されたBC濃度の相互比較も実施した。MAAPでは、エアロゾルの散乱も測定し、BC濃度を算出しているため、エサロメータで得られたBC濃度が若干高めに出る傾向があったが、良い相関が確認された ( $[BC]_{MAAP}=0.9117[BC]_{Aeth}-0.2161$ ,  $R^2=0.8188$ )。

##### (2) BC濃度と光学特性の季節変化

2005年以降に昭和基地で観測されたBC濃度は、検出下限 ( $0.2 \text{ ng m}^{-3}$ ) 以下  $\sim 63.8 \text{ ng m}^{-3}$  であり、観測期間中央値、平均値は、 $1.8$ ,  $2.7 \text{ ng m}^{-3}$  だった (図 1a)。本研究で得られたBC濃度は、これまでに南極沿岸部 (Halley, Neumayer) で得られたBC濃度と良く対応していた (Wolff and Cahier, JGR, 1998; Weller et al., ACP, 2013)。昭和基地で得られたBC濃度季節変化は、8-11月に極大 (中央値:  $3.1 \text{ ng m}^{-3}$ ) を、1-4月に極小 (中央値:  $1.3 \text{ ng m}^{-3}$ ) を示していた (図 1a, c)。全観測期間 (2005-2016) 中では、極僅かな減少傾向 ( $-0.036 \text{ ng m}^{-3} \text{ yr}^{-1}$ ,  $p=0.0145$ ) が確認されたが、2010-2016年の期間では、増加傾向 ( $0.105 \text{ ng m}^{-3} \text{ yr}^{-1}$ ,  $P<0.001$ ) が得られた。

BCと同様に燃焼過程起源であるCO, CO<sub>2</sub>濃度との比較も行った。中緯度域からの明瞭な長距離輸送イベントが確認されたときには、BCとCO濃度が増加する例も確認されたものの、BC, CO, CO<sub>2</sub>の大気中の寿命やシンクの違いにより、対応・相関が確認されない例もあった。

光吸収オングストローム指数 (Absorption Angstrom Exponent: AAE) も明瞭な季節変化を有し (図 1b, d), AAEは4-10月に0.5-1.0, 夏季の12-2月には1.0-1.5に分布していた。4-10月に  $AAE<1$  となる要因としては、長距離輸送中にBCが内部混合状態へ変化しているためと考えられる。Ueda et al. (ACP, 2018) では、エアロゾル粒子の直接個別観測から、南極沿岸部や南大洋上では、BCは主に内部混合の状態が存在していたことが確認された。春季 (9-11月) にはAAEがわずかに増加していた。混合状態の変化や有機物・鉱物などの光吸収性粒子の寄与などが考えられるが、南半球のバイオマス燃焼の寄与が高くなる時期とも対応しており、外部混合状態のBC粒子の割合や有機エアロゾルの増加が、AAEの増加をもたらしていると考えられる。BC濃度が低い夏季のAAE増加は、BCの混合状態変化だけでは説明ができないため、有機エアロゾルや鉱物粒子の寄与を検討する必要がある。

UV-IR域のAAEと可視 (Vis) -IR域のAAEを比較すると (図 2a), UV-IR域のAAEが大きくなる傾向があるため、紫外域での光吸収の強い有機エアロゾル (i.e., Brown Carbon: BrC) が光吸収特性に大きく影響を与えていることが示唆される。UV-IRとVis-IRのAAEの相関関係の切片値はどの月も負となっていた。特にBC濃度が極大を示す10-11月に、切片値が極小 ( $-0.20.4$  以下) を示していた。以上から、春季には低・中緯度域のバイオマス燃焼からのBC, BrC放出

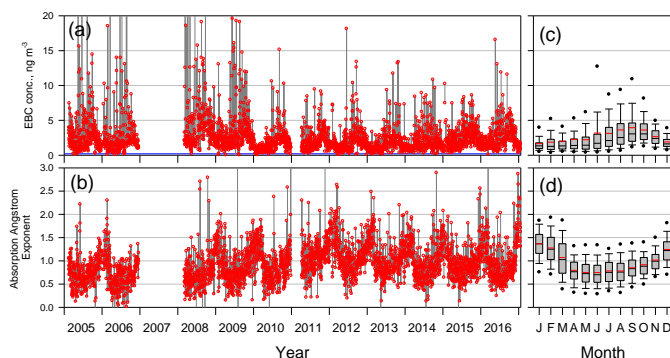


図 1 (a) 南極昭和基地で観測された日中央BC濃度の季節変化, (b) 日中央AAE (Absorption Angstrom Exponent) の季節変化, (c) 2005年2月以降の月別BC濃度, (d) 月別AAE. 2007年1月-2008年1月と2011年1月-4月上旬は機器トラブルのためデータはない。(a)内の青線は検出下限 ( $0.2 \text{ ng m}^{-3}$ ) を示す。ボックス図は、最上部バー、箱上端、箱中央の黒線、箱下端、最下部のバーは、90%, 75%, 50%, 25%, 10%値に対応する。赤線は平均値を示す。

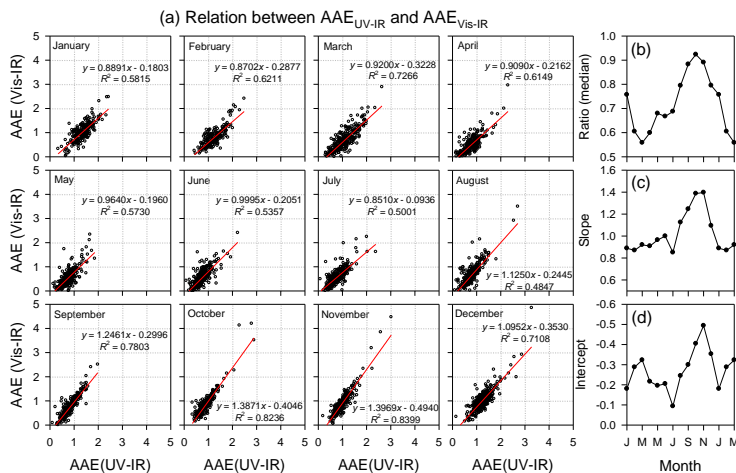


図 2 (a) UV-IR 域, 可視-IR 域の AAE の変化, (b) UV-IR の AAE と可視-IR の AAE の比の季節変化, (c) 相関の傾きの季節変化, (d) 相関の切片値の季節変化. BC 濃度が計測下限 ( $0.2 \text{ ng m}^{-3}$ ) を下回ったデータは、図からは除外してある。(a)の赤線は一時近似直線を示す。

と南極沿岸域への輸送が、春季の光吸収特性に大きく影響を与えていることが確認された。春季と異なり、夏季では、BC 濃度は低いいため、非燃焼過程起源の BrC の寄与が期待される。夏季の有機エアロゾル成分の主成分の一つとして、海洋生物活動と大気中の光化学反応と密接に関係する  $\text{CH}_3\text{SO}_3^-$  が観測されている(本研究)。  $\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$  水溶液は UV 域に強い光吸収を示すことを考慮すると(本研究, Myhre et al., A0, 2004), 夏季の AAE の変化には、BC の混合状態変化に加え、  $\text{CH}_3\text{SO}_3^-$  などの海洋生物活動起源の BrC が関係していると示唆される。

### (3) 空気塊の起源別 BC 濃度

南極域における BC の空間分布、輸送過程を理解するために、空気塊の起源別に BC 濃度を比較した。本研究では、空気塊の起源を、地域は海洋 (<66°S)、沿岸 (66-75°S)、内陸 (>75°S) と、高度は境界層 (<1500m)、自由対流圏 (>1500m) の 6 領域に分類した。各空気塊の起源別 BC 濃度は、BC の空間分布と緯度分布を反映していた(図 3)。 BC 濃度は海洋境界層・海洋自由対流圏起源の空気塊中で高く、いずれの空気塊の起源でも、春季 (9-11 月) に極大を示していた。海洋境界層では 5-6 月には徐々に増加する傾向が得られた。海洋上の BC 発生源 (燃焼過程) としては船舶が存在するが、南極周辺海域の境界層大気中の BC 濃度レベルを維持するには、南極周辺海域の船舶航行密度は極めて低い。南半球の CO 濃度は春季に極大を示し、CO 分布は南米・アフリカ大陸上のバイオマス燃焼域から海洋上へ流出する分布を示していた (Gros et al., 1999; Edwards et al., 2006a, 2006b) ことを考慮すると、南極沿岸域で観測される BC は、主に低・中緯度域で起きたバイオマス燃焼から、海洋境界層～下部自由対流圏 (<3000m) 経由で輸送されていることが示唆される。 BC 濃度は低いが、大陸上自由対流圏起源の空気塊中の BC 濃度は 10-11 月に極大を示す季節変化をしていることから、自由対流圏上層経由で低・中緯度域から南極域へ輸送され、南極圏内で自由対流圏から南極沿岸部の地上付近へ鉛直輸送される過程も昭和基地の BC 濃度に影響を与えていた。

### (4) 南極沿岸部の BC の起源と発生地域 (PSA)

BC の起源と PSA を理解するため、CHASRE モデルを使用して、起源・PSA 別の BC 濃度を計算した。モデルで得られた BC 濃度 (mBC) は、観測で得られた BC 濃度に良く対応していた ( $[\text{mBC}] = 0.935 \times [\text{EBC}] - 0.0588$ ,  $R=0.5771$ )。 CHASER モデルでは、BC の発生する燃焼過程は、バイオマス燃焼、化石燃料燃焼、その他 (薪などのバイオマス燃料の使用を含む) に分けた(図 4)。 昭和基地での BC 発生源は明瞭な季節変化を示し、BC 濃度が極大を示す春季には、バイオマス燃焼が主要で、寄与率は 50-80% (mean 70.7%) だった。一方、化石燃料燃焼の寄与率は 10-20% (mean 14.8%) だった。その他の燃焼過程の寄与率は、2-6 月に 50% を超えていたが、これは低 BC 濃度の期間に対応していた。バイオマス燃焼起源の mBC (BB-mBC) は 8-10 月に極大を取ることが多かった。春季の BC 濃度極大期には、南米とアフリカ南部の寄与が 90% 以上に達していた。南米とアフリカ南部の寄与率は年ごとに变化するが、それぞれ 18.1-62.3% (mean 42.1%), 15.9-71.7% (mean 43.3%) だった。オーストラリアのバイオマス燃焼の寄与率が春季極大の後 (10-11 月) に急増する傾向が得られていたが、BC, mBC 濃度は低かった。昭和基地に輸送されるバイオマス燃焼起源の BC は、PSA での燃焼面積、大気輸送過程・経路と密接に関係する。南極周辺海域では、低気圧が東進するため、PSA から流出した燃焼起源物質も東向きに輸送される。その結果、昭和基地へ輸送される BC の PSA は南

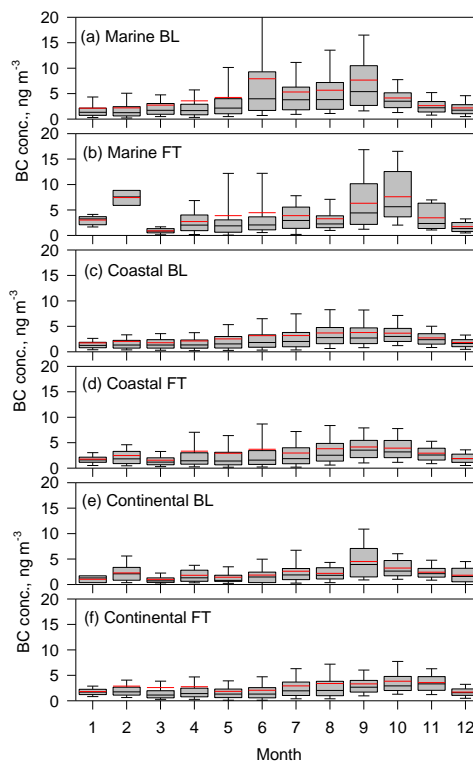


図 3 各空気塊の起源別の BC 濃度季節変化。 BL は境界層、FT は自由対流圏を示す。ボックス図の仕様は図 1 と同様である。

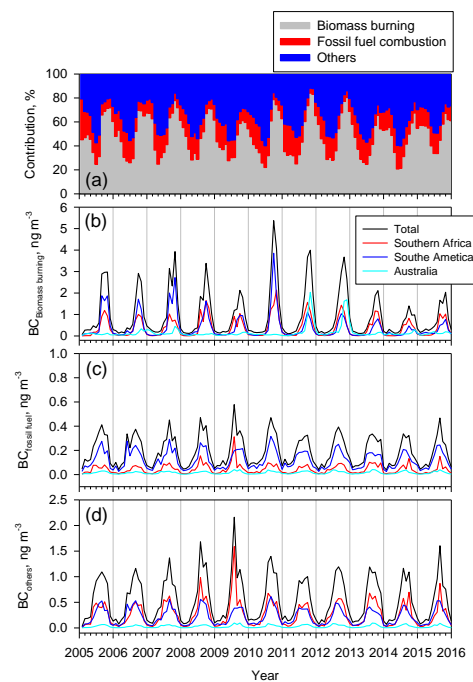


図 4 (a) 昭和基地における PSA の寄与率、主な PSA での (b) バイオマス燃焼起源 BC 濃度、化石燃料燃焼起源 BC 濃度、(c) その他起源の BC 濃度の季節変化



米やアフリカ南部の寄与が高く、オーストラリアの寄与が低くなっていると考えられる。

BB-mBC 濃度は、8 月に大きく増加していたが、観測された BC 濃度は、5-6 月に増加していた。BB-mBC に対し、化石燃焼起源 mBC (FFC-mBC) やその他起源 mBC (OC-mBC) の濃度は 5-6 月に増加を始めていた。FFC-mBC と OC-mBC には良い相関 ( $R^2=0.9675$ )、BB-mBC と FFC-mBC の相関は下がっていた ( $R^2=0.4175$ )。この違いは、昭和基地で観測された BC 濃度の季節変化には、バイオマス燃焼の発生強度の季節変化だけではなく、各 PSA から昭和基地 (南極沿岸域) への輸送強度の変化にも関係していることを意味する。

BB-mBC とは異なり、FFC-mBC では南米の寄与率が 34.1-82.4% (mean, 63.6%) と最も高く、アフリカ南部の寄与率は 7.4-54.0% (mean, 20.9%) で、オーストラリアは、わずか 3.9-17.5% (mean, 8.0%) だった。この寄与率の違いは、上記のように輸送過程と PSA の位置と関係するが、人間活動の規模の違いも検討しなければならない。化石燃料の使用量は、国内総生産 (GDP) に対応することを考慮すると、南半球では、南米諸国の総 GDP 値が最大となっていたため、FFC-mBC の寄与は、各 PSA の人口だけではなく、経済活動の規模も関係していることが示された。近年、アフリカ域では人口が急激に増加し、南半球で最大となってきたため、今後、更なる経済発展・人間活動に伴い BC 発生量が増加してくることが懸念される。南半球で起きる燃焼過程から放出される物質 (例, BC) の放出・拡散・輸送・影響を捉えるためには、南極域における継続的な連続観測が重要となっていくはずである。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- (1) Sayako Ueda, Kazuo Osada, Keiichiro Hara, Masanori Yabuki, Fuminori Hashihama, and Jota Kanda, Morphological features and mixing states of soot-containing particles in the marine boundary layer over the Indian and Southern Oceans, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 9207-9224, 2018 (doi.org/10.5194/acp-18-9207-2018).
- (2) K. Hara, K. Osada, M. Yabuki, H. Takashima, N. Theys, and T. Yamanouchi, Important contribution of sea-salt aerosols to atmospheric bromine cycle in the Antarctic coasts, *Scientific Reports*, 8, 13852, DOI:10.1038/s41598-018-32287-4 (2018).
- (3) Keiichiro Hara, Kengo Sudo, Takato Ohnishi, Kazuo Osada, Masanori Yabuki, Masataka Shiobara, Takashi Yamanouchi, Seasonal features and origins of carbonaceous aerosols at Syowa Station, Antarctica, *Atmos. Chem. Phys.*, Accepted.

[学会発表] (計 14 件)

- (1) 原圭一郎, 南極昭和基地で観測された Black carbon の変化, 第 6 回極域科学シンポジウム, 2015
- (2) K. Hara, K. Osada, M. Yabuki, M. Shiobara, T. Yamanouchi, Seasonal features of black carbon measured at Syowa Station, Antarctica, AGU fall meeting, 2015
- (3) K. Hara, C. Nishita-Hara, K. Osada, M. Yabuki, and T. Yamanouchi, Seasonal cycle of aerosol size distribution at Syowa Station, Antarctica, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 2016
- (4) K. Hara, C. Nishita-Hara, K. Osada, M. Yabuki, and T. Yamanouchi, Seasonal cycle of aerosol size distribution at Syowa Station, Antarctica, 第 7 回極域科学シンポジウム, 2016
- (5) 原圭一郎, 矢吹正教, 須藤健悟, 塩原匡貴, 木名瀬健, 海洋大気境界層内のブラックカーボン濃度水平分布, 気象学会 2016 年度秋季大会, 2016
- (6) 原圭一郎, 西田千春, 長田和雄, 矢吹正教, 山内 恭, 南極昭和基地におけるエアロゾル粒径分布の季節変化, 第 34 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2017
- (7) 原圭一郎, 三上七海, 長田和雄, 林 政彦, 塩原匡貴, 山内 恭, 南極昭和基地における凝結核濃度の季節・経年変化, 気象学会 2017 年度秋季大会, 2017
- (8) K. Hara, N. Mikami, K. Osada, M. Hayashi, M. Shiobara, and T. Yamanouchi, Variations of condensation nuclei at Syowa Station, Antarctica, 第 8 回極域科学シンポジウム, 2017
- (9) K. Hara, K. Sudo, Takato Ohnishi, K. Osada, M. Yabuki, M. Shiobara, and T. Yamanouchi, Seasonal features of black carbon concentrations and the potential sources at Syowa Station, Antarctica, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 2018
- (10) 大西 貴都, 須藤 健悟, 原 圭一郎, 南極域黒色炭素の起源推定と収支解析, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 2018
- (11) 原圭一郎, 須藤健悟, 大西貴都, 長田和雄, 矢吹正教, 塩原匡貴, 山内 恭, 南極昭和基地で観測されたブラックカーボンの季節変化と起源, 第 35 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2018
- (12) K. Hara, K. Osada, M. Yabuki, H. Takashima, N. Theys, and T. Yamanouchi, Important contribution of sea-salt aerosols to atmospheric bromine cycle in the Antarctic coasts, 2018 joint 14th Quadrennial iCACGP Symposium and 15th IGAC Science Conference
- (13) K. Hara, K. Osada, M. Yabuki, H. Takashima, N. Theys, and T. Yamanouchi, Important contribution of sea-salt aerosols to atmospheric bromine cycle in the Antarctic coasts,

第9回極域科学シンポジウム, 2018

- (14) K. Hara, K. Sudo, Takato Ohnishi, K. Osada, M. Yabuki, M. Shiobara, and T. Yamanouchi, Seasonal features and origins of carbonaceous aerosols at Syowa Station, Antarctica, 第9回極域科学シンポジウム, 2018
- (15) K. Hara, K. Osada, M. Yabuki, H. Takashima, N. Theys, and T. Yamanouchi, Important contribution of sea-salt aerosols to atmospheric bromine cycle in the Antarctic coasts, AGU fall meeting, 2018

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

[https://www.researchgate.net/profile/Keiichiro\\_Hara](https://www.researchgate.net/profile/Keiichiro_Hara)

<https://scholar.google.co.jp/citations?user=r1zGayoAAAAJ&hl=ja&oi=ao>

<http://chaser.has.env.nagoya-u.ac.jp/aecm/wiki.cgi?page=%A5%E1%A5%F3%A5%D0%A1%BC%A5%EA%A5%B9%A5%C8>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

須藤健悟 (Kengo Sudo)

名古屋大学大学院・環境学研究科・准教授

研究者番号: 40371744

### (2) 研究協力者

塩原匡貴 (Masataka Shiobara), 森本真司 (Shinji Morimoto), 矢吹正教 (Masanori Yabuki), 高島久洋 (Hisahiro Takashima), Nicolas Theys, 大西 貴都 (Takato Ohnishi), 三上七海 (Nanami, Mikami), 武田真憲 (Masanori Takeda), 荒川逸人 (Itsuto Arakawa), 高村友海 (Yumi Takamura), 林政彦 (Masahiko Hayashi), 加藤恵亮 (Keisuke Kato), 江竜和信 (Kazunobu Eryu), 杉浦裕紀 (Yuuki Sugiura), 山田恭平 (Kyohei Yamada), 平沢尚彦 (Naohiko Hirasawa), 小林史尚 (Fumihisa Kobayashi), 齊藤晃紀 (Akinori Saito), 原口涼平 (Ryohei Haraguchi)