

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2017

課題番号：25701001

研究課題名(和文)自動車排ガス起源の二次有機エアロゾルの光学特性の解明

研究課題名(英文) Research on optical properties of secondary organic aerosol originated from vehicle exhaust

研究代表者

中山 智喜 (NAKAYAMA, Tomoki)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環境)・准教授

研究者番号：40377784

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 17,700,000円

研究成果の概要(和文)：分光学的手法を用いて、自動車排ガス中の粒子および排ガス中の気相成分が酸化され生成する粒子の光吸収および光散乱を測定し、一次有機エアロゾル(POA)および二次有機エアロゾル(SOA)の光吸収や、被覆が黒色炭素(BC)の光吸収の増加に及ぼす影響について調べた。その結果、自動車排ガス中のPOAやSOAが、自動車の種類や運転条件、酸化過程によっては、無視できない光吸収性を持つことが判明した。また、排出時には被覆によるBCの光吸収の増加はわずかであるが、大気中での酸化が進むにつれて有機物や無機塩による被覆が進み、BCの光吸収が増加することが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Light absorption properties of primary organic aerosol (POA) and secondary organic aerosol (SOA) originated from vehicle exhaust, as well as enhancement of light absorption of black carbon (BC) by coating with other materials, were studied using spectroscopic techniques. Significant light absorption by POA and SOA was found under specific conditions, including vehicle type, running speed, and aging process. In addition, enhancement of light absorption of BC due to coating was observed after oxidation of volatile organic compounds and nitrogen oxides emitted from vehicles.

研究分野：環境動態解析

キーワード：環境変動 気候変動 環境分析

1. 研究開始当初の背景

大気中には、様々な微粒子(エアロゾル)が存在しており、太陽光を吸収もしくは散乱することにより、地球大気を加熱もしくは冷却する。代表的な光吸収性エアロゾルであるブラックカーボン(BC)粒子による放射強制力は、二酸化炭素に比べて無視できない重要な寄与を持つことが知られている。近年、BC粒子に加えて、短波長可視域から紫外領域に光吸収性を有する有機炭素成分(OC)「ブラウカーボン」が存在し、放射収支や紫外光により駆動される大気化学反応に重要な寄与を及ぼしている可能性が指摘されている。ブラウカーボンの候補として、バイオマス燃焼や化石燃料燃焼、自然もしくは人為起源により放出された揮発性有機化合物(VOC)が大気化学反応を経て生成する二次有機エアロゾル(SOA)などが挙げられているが、光吸収や光散乱などの光学特性の理解が不十分であるため、大気環境への影響についてはよくわかっていない。

人間活動による BC 粒子の主要な排出源として自動車からの排出があるが、排ガス中の粒子には、エンジン内や後処理装置内で生成した有機化合物や高温環境下で揮発した燃料が、排出後の温度低下に伴い粒子化するため、BC成分だけでなく、OC成分が含まれている。排ガス中には、大気中に直接粒子として排出される、一次有機エアロゾル(POA)に加えて、様々な種類の VOC が存在する。最近の研究により、これらの VOC の酸化により SOA が効率よく生成することがわかってきている。しかしながら、自動車排ガス起源の POA や SOA の光学特性について調べた例はほとんどなかった。

さらに、排ガス中の BC と OC の一部は、同じ粒子内に共存(内部混合)して存在すると考えられる。BC が OC で被覆されると、被覆成分がレンズとして働き光吸収量が増加する(レンズ効果)など、光学特性が変化すると予想される。そのため、排ガス中の OC が放射収支へ及ぼす影響を理解するためには、レンズ効果についても調べることが必要であると考えた。

2. 研究の目的

上記のような背景を踏まえ、本研究では、エアロゾル粒子の光学特性を粒子が浮遊した状態で直接計測することが可能な分光学的手法を用いることで、自動車排ガス中の粒子および二次生成粒子の吸収および散乱係数を直接計測し、自動車排ガス起源の POA および SOA の光学特性および、POA や SOA が BC を被覆することによるレンズ効果の寄与について、詳細に調べることが目的とした。

3. 研究の方法

(1) 光学特性測定装置の評価

本研究では、DMT 社の光音響分光(PAS)装置(PASS-3 および PAX)および自作のキャビ

ティリングダウン分光(CRDS)装置を用いて、粒子の光学特性(光吸収、光散乱、消散の各係数)を測定することとした。PASS-3 および PAX については、性能や校正手法の評価が報告されていなかったため、評価した。

(2) 走行条件が自動車排ガス中の BC および POA の光吸収特性に及ぼす影響

多波長 PAS 装置を用いて、シャシーダイナモメータ上で走行させたディーゼルトラックから排出される粒子の光吸収特性を調べた。実験は、市街地でのディーゼル車の走行を想定した「過渡走行モード(JE05)」と、車両を一定の速度で走行させる「等速走行モード(アイドリングおよび時速 70 km)」の 2 種類の条件で行い、排出された粒子の光吸収および光散乱係数の波長依存性を得た。

実験では、排ガスを希釈した後、エアロゾル粒子の粒径分布および光吸収特性を連続的に測定した。粒径分布は走査型移動度粒径計測器、波長 405, 532, 781 nm の光吸収係数は、PAS 装置で測定した。エアロゾル粒子が加熱管を通過した場合の光学特性の変化についても調べた。

(3) 自動車排ガス起源の SOA の光吸収特性およびレンズ効果による BC の光吸収の増大の測定

ガソリン車やディーゼル車を、シャシーダイナモメータ上で、JC-08 試験モードで過渡走行させた。自動車排気を希釈したのち、6 m³ の反応チャンバーに導入した。反応チャンバーに、紫外光を照射、OH の前駆体(H₂O₂)を添加し紫外光を照射、もしくは、O₃を添加することで、VOC を酸化させ、SOA を生成した。一部の実験においては、SOA のみの光学特性について調べるために、自動車排気を粒子フィルターに通し、BC や POA を除去したうえで、反応チャンバーに導入した。

反応チャンバーに各種計測装置を接続し、VOC や O₃, NO_x, CO などの気相成分の濃度および、エアロゾル粒子の粒径分布、化学成分、光学特性などの計測を行った。エアロゾルの粒径分布は走査型移動度粒径計測器、化学成分はエアロゾル質量分析計により計測した。光学特性については、PAS 装置および CRDS 装置で測定した。エアロゾルのこれらの特性の計測においては、12 分毎に流路を切り替え、300°C に加熱したステンレス管を通過させた場合と、室温のバイパスラインを通過させた場合での測定を交互に行った。

4. 研究成果

(1) 光学特性測定装置の評価

PASS-3 および PAX 装置による光散乱測定においては二酸化炭素によるレイリー散乱や硫酸アンモニウム粒子を、光吸収測定においては二酸化窒素やプロパン燃焼起源のスス粒子を用いて、装置の校正を行うことができ、波長 375, 405, 781 nm の光散乱係数と波

長 375, 405, 532, 781 nm の光吸収係数が十分な精度および確度で測定できることを確認した。波長 532 nm の光散乱係数測定については、誤差が大きいため、排ガスの測定実験においては、CRDS 装置による消散係数の測定データを利用することとした。

(2) 走行条件が自動車排ガス中の BC および POA の光吸収特性に及ぼす影響

「過渡走行モード」と「等速走行モード」のいずれの走行条件においても、POA が多く排出された場合も含めて、加熱したステンレス管を通過させた場合と、室温のバイパスラインを通過させた場合での光吸収係数の変化は確認されなかったことから、排出直後には、レンズ効果による BC の光吸収の増加は小さいことが判明した。BC 粒子と POA が外部混合していることが光吸収の増加が見られなかった主な要因であると考えられる。

図 1 に、「過渡走行モード」における車速、加熱管を通過させない場合に測定された光吸収および光散乱係数、全炭化水素(THC)および窒素酸化物(NO_x)濃度、およびエアロゾル質量分析計(AMS)で測定した有機物の重量濃度の時間変化を示した。高速走行期間においては、気相および粒子状の有機物の濃度が増加し、光散乱係数が増加するとともに、特に短波長側(405 nm)の光吸収係数が増加していることがわかる。

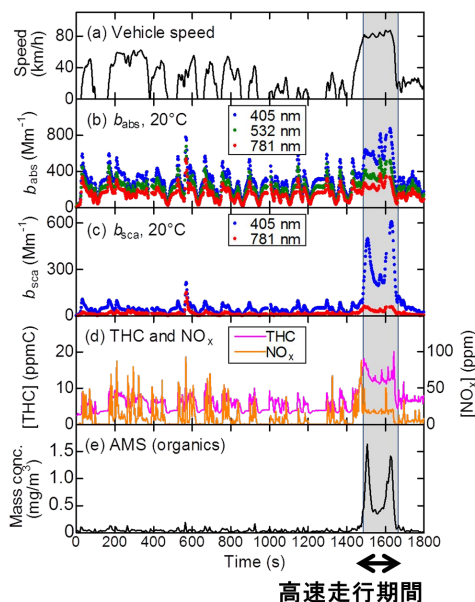


図 1：過渡走行モードにおける(a)車速、(b)光吸収係数、(c)光散乱係数、(d)全炭化水素および窒素酸化物濃度、(e)粒子状有機物の重量濃度の時間変化

「等速走行モード」においては、POA による光吸収は確認されなかった一方、「過渡走行モード」の高速走行時(時速 80km)においては、高濃度の POA が排出され、排出された POA は、波長 405 および 532 nm において無視できない光吸収性を有することが判明し

た。観測された POA による光吸収は、高速走行時には、波長 405 および 532 nm におけるエアロゾルの全光吸収の 20% および 7% 程度の寄与を持つことが判明した。加速終了時および減速開始時に有機成分の排出が増加することが、「過渡走行モード」においてのみ POA による光吸収が観測された要因となることが示唆された。

(3) 自動車排ガス起源の SOA の光吸収特性およびレンズ効果による BC の光吸収の増大の測定

本研究の結果、小型ディーゼル貨物車(後処理：ディーゼル酸化触媒)に加えて、直噴型エンジン搭載ガソリン車(後処理：三元触媒)で、無視できない量の BC の排出が観測された。これらの排ガスに紫外光もしくはオゾンを追加したところ、オゾン添加時により多くの SOA 生成し、それに伴って、レンズ効果により BC の光吸収が、最大 2 倍程度増加することが分かった。また、直噴型エンジン搭載ガソリン車(後処理：三元触媒)では、紫外光照射時、オゾン添加時のいずれにおいても、二次有機エアロゾルに匹敵する濃度の硝酸塩(主に、硝酸アンモニウム)が生成し、レンズ効果による BC の光吸収の増加に重要な寄与を及ぼしていることが示唆された。

ディーゼル酸化触媒/ディーゼル微粒子捕集フィルターの付いた新型ディーゼル乗用車およびポート噴射型ガソリン乗用車(三元触媒)では、BC や POA の排出量が小さく、紫外光照射やオゾン添加時に VOC から生成する SOA の寄与が大きかった。そのため、これらの車両について、生成する SOA の光吸収特性を決定した。ポート噴射型ガソリン乗用車では、わずかながら直接排出粒子が存在することが確認されたため、排気ガスを粒子フィルター(HEPA フィルター)を通して、BC および POA を除去した上で、光学特性や粒径分布、化学特性の測定を行った。

新型ディーゼル乗用車では、反応前の VOC 濃度を 4 ppm 程度とした場合、OH の前駆体(H_2O_2)を添加して紫外光を照射した場合には、 $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の SOA が生成したのに対し、オゾン添加時には、 $780 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の SOA が生成した。そのため、紫外光照射実験は、VOC の初期濃度を 18 ppm に増加させて再度行い、その結果を解析に用いた。ポート噴射型ガソリン乗用車では、VOC の初期濃度を 4 ppm とした場合、 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の SOA とともに、 $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の硝酸アンモニウムが生成した。

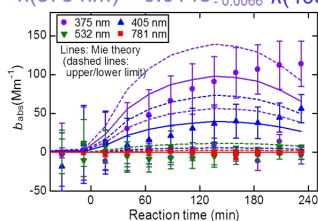
光音響分光装置で計測された波長 375, 405, 532, 781 nm の光吸収係数の時間変化と、観測結果を Mie 散乱理論による計算値と比較することで得られた生成した粒子の複素屈折率の虚部 k (光吸収の大きさに対応)を図 2 に示した。その結果、新型ディーゼル車の排気中の VOC に OH の前駆体を添加後酸化し、SOA を生成した場合、波長 405 nm 以下で有意な光吸収が観測され、 k 値は、波長 375 nm

で、0.014 と推定された。一方、同じ車両の排ガス中の VOC にオゾンを追加し、SOA を生成した場合、波長 375 nm における k 値は、0.001 と推定され、光酸化反応で生成する SOA に比べて小さく、0.001 程度であることがわかった。また、ポート噴射型ガソリン車の排気中の VOC を光酸化し、SOA を生成した場合には、有意な光吸収が観測されなかった。新型ディーゼル車からの排ガスに紫外光を照射し、SOA を生成した際には、ニトロ有機化合物の濃度が比較的高かったため、ニトロ有機化合物が観測された光吸収の要因となっている可能性が示唆された。

a) 新型ディーゼル乗用車

排ガス + H₂O₂ + UV照射

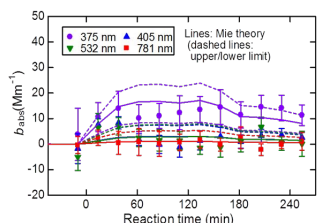
$$k(375 \text{ nm}) = 0.0143^{+0.0075}_{-0.0066} \quad k(405 \text{ nm}) = 0.0059^{+0.0056}_{-0.0051}$$



b) 新型ディーゼル乗用車

排ガス + O₃添加

$$k(375 \text{ nm}) = 0.0010^{+0.0004}_{-0.0005} \quad k(405 \text{ nm}) < 0.0005$$



c) ポート噴射型ガソリン乗用車

排ガス(HEPAで粒子除去) + UV照射

$$k(375 \text{ nm}) < 0.0029 \quad k(405 \text{ nm}) < 0.0014$$

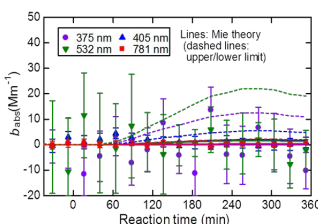


図 2：自動車排ガスに紫外線を照射、もしくはオゾンを追加した場合に生成する粒子の光吸収係数の時間変化（実線および破線は、観測結果に最も一致する k 値および最大/最小推定値を用いた場合に計算された光吸収係数）

図 3 に本研究で得られた k 値の波長依存性を、これまでに報告されている様々な起源の POA や SOA の k 値とともに示した。本研究で得られた新型ディーゼル車排ガスの光酸化により生成する SOA の k 値は、ディーゼルエンジン起源の POA の報告値より小さい、ディーゼル発電機起源の OA や aged-OA と同程度、バイオマス燃焼起源の POA や SOA より小さい、トルエンなどの芳香族炭化水

素の窒素酸化物存在下での光酸化反応で生成する SOA と同程度であることがわかった。

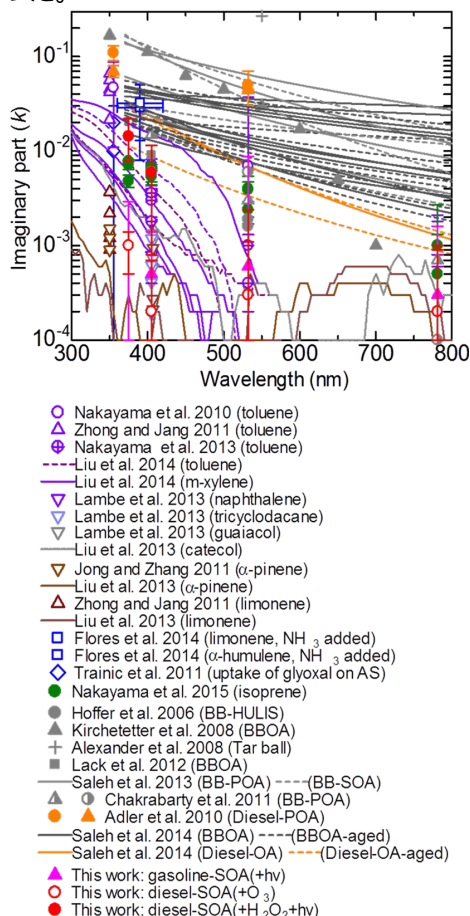


図 3：様々な起源の有機エアロゾルの屈折率虚部の波長依存性

本研究の結果、自動車排ガス中の POA や SOA が、自動車の種類や運転条件、大気中の酸化過程によっては、無視できない光吸収性を持つことが判明した。また、排出時には、被覆による BC の光吸収の増加はわずかであるが、大気中の酸化反応が進むにつれて、有機物や無機塩による被覆が進み、BC の光吸収の増加が、エアロゾル粒子全体の光吸収の増加に大きな寄与を持つことが明らかとなった。

5. 主な発表論文等（研究代表者には下線）〔雑誌論文〕(計 15 件)

- 1) B. -T. Ly, Y. Matsumi, T. Nakayama, Y. 他 3 名, Characterizing PM_{2.5} in Hanoi with new high temporal resolution sensor, Aerosol Air Qual. Res. (印刷中). 査読有
- 2) T. Nakayama, 他 3 名, Effect of oxidation process on complex refractive index of secondary organic aerosol generated from isoprene, Environ. Sci. Technol., 52, 2566-2574 (2018). 査読有
- 3) T. Nakayama, 他 3 名, Development and evaluation of a palm-sized optical PM_{2.5} sensor, Aerosol Sci. Technol., 52, 2-12

- (2018). 査読有
- 4) T. Nakayama, 他 15 名, Missing ozone-induced potential aerosol formation in a suburban deciduous forest, *Atmos. Environ.*, 171, 91-97 (2017). 査読有
 - 5) 中川真秀, 中山智喜, 松見豊, 「新しいエアロゾル光散乱全角度分布計測装置の開発と性能評価」, *クリーンテクノロジー*, 27, 45-49 (2017). 査読無
 - 6) 竹谷文一, 金谷有剛, 中山智喜, 他 5 名, 「レーザー誘起白熱法を用いて観測された春季能登スーパーサイトでのブラックカーボン特性」, *エアロゾル研究*, 31, 194-202 (2016). 査読有
 - 7) M. Nakagawa, T. Nakayama, 他 4 名, Design and characterization of a novel single-particle polar nephelometer, *Aerosol Sci. Technol.*, 50, 392-404 (2016). 査読有
 - 8) S. Ueda, T. Nakayama, 他 6 名, Light absorption and morphological properties of soot-containing aerosols observed at an East Asian outflow site, Noto Peninsula, Japan, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 2525-2541 (2016). 査読有
 - 9) T. Nakayama, 他 4 名, Complex refractive index of secondary organic aerosol generated from isoprene/NO_x photooxidation in the presence and absence of SO₂, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 7777-7787 (2015). 査読有
 - 10) H. Irie, T. Nakayama, 他 7 名, Evaluation of MAX-DOAS aerosol retrievals by coincident observations using CRDS, lidar, and sky radiometer in Tsukuba, Japan, *Atmos. Meas. Tech.*, 8, 2775-2788 (2015). 査読有
 - 11) T. Nakayama, 他 5 名, Characterization of a three wavelength photoacoustic soot spectrometer (PASS-3) and a photoacoustic extinctionsmeter (PAX), *J. Meteor. Soc. Japan*, 93, 285-308 (2015). 査読有
 - 12) T. Nakayama, 他 9 名, Properties of light-absorbing aerosols in the Nagoya urban area, Japan, in August 2011 and January 2012: Contributions of brown carbon and lensing effect, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 12721-12739 (2014). 査読有
 - 13) T. Hidemori, T. Nakayama, 他 12 名, Characteristics of atmospheric aerosols containing heavy metals measured on Fukue Island, Japan, *Atmos. Environ.*, 97, 447-455 (2014). 査読有
 - 14) X. Guo, T. Nakayama, 他 4 名, Measurement of the light absorbing properties of diesel exhaust particles using a three-wavelength photoacoustic spectrometer, *Atmos. Environ.*, 94, 428-437 (2014). 査読有
 - 15) 中山智喜, 松見豊, 「レーザー分光法を用いたエアロゾル光学特性の計測」, *化学工学*, 77, 566-568 (2013). 査読無
- [学会発表](計 33 件)
- 1) T. Nakayama, Y. Matsumi, Laboratory and observational studies on optical properties of carbonaceous particles, *Symposium on Frontiers of Atmospheric Aerosol Studies: Toward the Understanding of the Health and Climate Effects*, January 2018, Nagoya (Japan).
 - 2) T. Nakayama, 他 3 名, Effect of oxidation processes on optical properties of secondary organic aerosol generated from isoprene, 33rd *Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics*, June 2017, Nagoya (Japan).
 - 3) T. Nakayama, 他 3 名, Impacts of oxidation processes on complex refractive index of SOA generated from isoprene, *American Association for Aerosol Research (AAAR) 34th Annual Conference*, October 2016, Portland (USA).
 - 4) 中山智喜, 他 3 名, 「イソプレン起源の二次有機エアロゾルの光学特性: 酸化過程による違い」, *日本気象学会 2016 年度秋季大会*, 2016 年 10 月, 名古屋大学
 - 5) 中山智喜, 他 10 名, 「自動車排ガス起源の二次有機エアロゾルの光吸収特性の実験的研究」, *日本気象学会 2016 年度秋季大会*, 2016 年 10 月, 名古屋大学
 - 6) 中山智喜, 他 10 名, 「自動車排ガス起源の二次有機エアロゾルの光学特性の実験的研究」, *第 22 回大気化学討論会*, 2016 年 10 月, 北海道大学
 - 7) 中山智喜, 他 10 名, 「自動車排ガス起源の二次有機エアロゾルの光学特性」, *第 33 回エアロゾル科学・技術研究討論会*, 2016 年 8 月, 大阪府立大学
 - 8) T. Nakayama, 他 10 名, Optical properties of secondary organic aerosol from diesel and gasoline engine exhaust, *The 26th Goldschmidt Conference*, June 2016, Yokohama (Japan).
 - 9) 中山智喜, 「有機エアロゾルの光学特性の研究」, *北大低温研究集会「有機エアロゾルに関する大気化学的研究: 組成、起源、および、光化学的変質」*, 2016 年 5 月, 北海道大学
 - 10) 中山智喜, 「二次有機エアロゾルの光学特性の実験研究」, *大気環境学会近畿支部 反応と測定部会 2016 年講演会*, 2016 年 5 月, 大阪府立大学 (招待講演)
 - 11) T. Nakayama, 他 4 名, Optical properties of secondary organic aerosols generated from isoprene, *JSPS-DFG workshop on Aerosols*, November 2015, Mainz (Germany)
 - 12) T. Nakayama, Complex refractive index of secondary organic aerosols generated from isoprene, *The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015 (Pacifichem2015)*, December 2015, Honolulu (USA). (招待講演)

- 13) T. Nakayama, 他 4 名, Laboratory studies of optical properties of isoprene SOA, The 13th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality (ASAAQ13), November 2015, Kobe (Japan).
- 14) T. Nakayama, 他 4 名, Light Absorption of Black and Brown Carbon in an Urban Area, Nagoya, Japan, Founding Symposium for the Institute for Space-Earth Environmental Research, November 2015, Nagoya (Japan).
- 15) 中山智喜, 「奨励賞受賞記念講演: レーザ一分光法を用いたエアロゾル光学特性の研究」, 第 21 回大気化学討論会, 2015 年 10 月, 東京工業大学 (招待講演)
- 16) T. Nakayama, 他 3 名, Complex refractive index of SOA generated during the photooxidation of isoprene in the presence of SO₂, 2015 Asian Aerosol Conference (AAC2015), June 2015, Kanazawa (Japan).
- 17) 中山智喜, 他 3 名, 「酸化過程の違いがイソプレン起源 SOA の光学特性に及ぼす影響」, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015 年 5 月, 幕張メッセ国際会議場
- 18) 中山智喜, 松見豊, 「気候変動に関与するエアロゾルの諸特性の実験および観測研究」, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015 年 5 月, 幕張メッセ国際会議場
- 19) T. Nakayama, Y. Matsumi, Observational and laboratory studies of optical properties of black and brown carbon particles in the atmosphere using spectroscopic techniques, European Geoscience Union General Assembly 2015 (EGU2015), April 2015, Vienna (Austria). (招待講演)
- 20) 中山智喜, 「有機エアロゾルの光学特性の研究: 現状と今後の課題」, 名大太陽研共同研究集会「有機エアロゾルに関するワークショップ: 大気におけるその動態・性状・役割」, 2015 年 1 月, 名古屋大学東京オフィス
- 21) 中山智喜, 「有機エアロゾルの光学特性」, ワークショップ: 「大気化学における不均一反応研究の今後」, 2015 年 1 月, 熱海 KKR ホテル
- 22) 中山智喜, 他 3 名, 「イソプレン起源の SOA はブラウンカーボンとなりうるか?」, 第 20 回大気化学討論会, 2014 年 10 月, 府中グリーンプラザ
- 23) 中山智喜, 松見豊, 「木材燃焼起源の有機エアロゾルの光吸収特性」, 第 31 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2014 年 8 月, 筑波大学
- 24) T. Nakayama, 他 7 名, Contributions of brown carbon and lensing effect to aerosol light absorption in the Nagoya urban area, Japan, during summer and winter, Goldschmidt Conference 2014, June 2014, Sacramento (USA).
- 25) X. Guo, T. Nakayama, 他 4 名, Light absorbing properties of diesel exhaust particles measured by a three-wavelength photoacoustic spectrometer, Goldschmidt Conference 2014, June 2014, Sacramento (USA).
- 26) 中山智喜, 他 3 名, 「二次有機エアロゾルの消散係数の湿度依存性と化学特性の関係」, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 2014 年 4 月, パシフィコ横浜
- 27) 中山智喜, 他 3 名, 「二次有機エアロゾルの光学特性の湿度依存性と化学特性の関係」, 日本化学会第 94 春季年会, 2014 年 3 月, 名古屋大学
- 28) 中山智喜, 松見豊, 「エアロゾル光学特性計測の課題と応用」, エアロゾル先端計測研究会第 1 回会合, 2014 年 3 月, キャンパスプラザ京都
- 29) 中山智喜, 松見豊, 「大気微量成分・エアロゾルの観測データ」, IUGONET 研究集会「太陽地球環境メタデータ・データベースによる時空間変動の学際研究」, 2014 年 3 月, 名古屋大学
- 30) 中山智喜, 松見豊, 「木材燃焼起源エアロゾル粒子の光吸収特性」, 第 19 回大気化学討論会, 2013 年 11 月, 石川県七尾市
- 31) T. Nakayama, 他 6 名, Black and brown carbon light absorption in an urban area, Nagoya, Japan, European Aerosol Conference (EAC 2013), September 2013, Prague (Czech Republic).
- 32) 中山智喜, 他 6 名, 「名古屋で観測された炭素質エアロゾルの光吸収特性」, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013 年 5 月, 幕張メッセ国際会議場
- 33) 中山智喜, 他 6 名, 「名古屋におけるエアロゾル光吸収特性の観測: レンズ効果およびブラウンカーボンの寄与」, 日本気象学会 2013 年春季大会, 2013 年 5 月, 国立オリンピック記念青少年総合センター [図書] (計 2 件)
- 1) 中山智喜, 「2-3. 炭素質エアロゾルの光学特性」, p.40-41, 河村公隆ほか編, 「低温環境の科学事典」, 朝倉書店, 2016 年 7 月. (分担執筆)
- 2) 中山智喜, 「4. 大気エアロゾルの光学特性の計測手法と応用」, p.28-38, 「粉粒体/多孔質材料の計測とデータの解釈/使い方」, S&T 出版, 2015 年 6 月. (分担執筆)
- [産業財産権]
該当なし
[その他]
該当なし
6. 研究組織
(1) 研究代表者
中山 智喜 (NAKAYAMA, Tomoki)
長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環境)・准教授
研究者番号: 40377784