

令和元年5月29日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05625

研究課題名(和文) 東アジアにおける有害有機エアロゾルの大気分布・拡散・反応及びリスク評価

研究課題名(英文) Atmospheric Distribution, Diffusion, Reaction and Risk Assessment of Hazardous Organic Aerosols in East Asia

研究代表者

亀田 貴之 (Kameda, Takayuki)

京都大学・エネルギー科学研究科・准教授

研究者番号：50398426

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：エネルギー消費により排出された大気汚染物質は、環境に影響を与えるとともに、人への健康被害とも密接な関わりがあることから、その徹底的な管理が必要となる。近年、深刻な大気汚染に悩まされている中国において高濃度で観測される多環芳香族化合物は、化石燃料等の不完全燃焼により生成されるだけでなく、大気中で二次生成されることも報告されている。これらの発生源により引き起こされる大気汚染に関して効果的な対策を講じるためには、各発生源の寄与率を明らかにする必要がある。そこで本研究では、大気汚染が深刻な中国遼寧省瀋陽市を観測地点に選び、多環芳香族化合物の発生源およびその寄与率を推定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では多環芳香族化合物の発生源寄与の季節変動を明らかにし、各発生源への平均寄与率を算出した。発生源解析を行った結果、多環芳香族化合物は石炭燃焼と自動車排出のほか、バイオマス燃焼、大気内二次生成の寄与が無視できないことがわかった。今まで発生源情報が少ない多環芳香族化合物に関して、多成分間相関関係とレセプターモデルによる解析を使って、その発生源寄与率を明らかにすることができた。

研究成果の概要(英文)：Air pollutants discharged by energy consumption have an effect on the environment and have a close relation with health hazard to human, so that thorough management is required. Recently, it has been reported that polycyclic aromatic compounds observed at high concentrations in China, which is suffering from serious air pollution, are not only produced by incomplete combustion of fossil fuels, but also secondarily produced in the atmosphere. In order to take effective measures against air pollution caused by these sources, it is necessary to clarify the contribution rate of each source. In this study, we selected Shenyang City, Liaoning Province, China, where air pollution is serious, as an observation site, and estimated the source of polycyclic aromatic compounds and their contribution rate.

研究分野：大気環境科学

キーワード：大気汚染 PAH 東アジア 二次生成

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、中国では社会経済の発展、都市化プロセスの加速およびグローバル化による生産拠点の建設を代表とする経済活動が顕著に増加している。この経済発展を支えるエネルギー消費、特に石炭の消費量の増加によって、膨大な量の石炭が燃焼されている。また、石炭燃焼による大気汚染物質の浄化装置の性能が低く、除去プロセスに関わるコストが高騰しているなどの原因で、大量の大気汚染物質が排出されている。さらに、経済発展に伴い、自動車産業の発展や国民生活の水準の変化などから、自動車販売台数が激増している。2009年において、年間増加率が45.5%を記録するなど、自動車産業は近年の中国の経済発展の柱となっているが、これに伴い、石炭同様に、自動車から大量の大気汚染物質が排出されていることになる。

このような背景から、近年、中国各地において深刻な大気汚染が断続的に発生している。種々の発生源から排出された粒子状物質 (Particulate Matter; PM) による大気汚染の程度は、経済的事情や交通、産業状況、地理環境、科学技術のレベルによって大きく異なる。中国東沿岸部におけるPMによる大気汚染は、自動車の排気や石炭を燃料とした集中暖房による排煙、工場排煙などにより生じると考えられている。PM中の多環芳香族化合物 (Polycyclic Aromatic Compounds; PAC) は健康への悪影響が懸念されているが、それらはPMそのものと同様、石炭や石油、バイオマスなどの燃焼により発生し、中国において高濃度汚染を引き起こしていることが推察される。また、PMやPMに含まれるPACは中国国内に留まらず、偏西風に乗って韓国や日本など東アジアの隣国へ越境輸送され影響を与える可能性がある。

2. 研究の目的

エネルギー消費により排出された大気汚染物質は、環境に影響を与えるとともに、人への健康被害とも密接な関わりがあることから、その徹底的な管理が必要となる。近年、深刻な大気汚染に悩まされている中国において高濃度で観測されるPACは、化石燃料等の不完全燃焼により生成されるだけでなく、大気中で二次生成されることも報告されている。これらの発生源により引き起こされる大気汚染に関して効果的な対策を講じるためには、各発生源の寄与率を明らかにする必要がある。ところが、これまでの大気汚染物質の発生源解析に関する研究は無機イオン成分や金属成分を対象とするものがほとんどであり、健康被害に直結するPACを対象とする報告は極めて少ない。そこで本研究では、大気汚染が深刻な中国遼寧省瀋陽市を観測地点に選び、PACの発生源およびその寄与率を推定することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 大気エアロゾル捕集

中国遼寧省瀋陽市北部の都市部 (北緯 41.840°, 東経 123.409°) に位置する7階建建物の7階ベランダ (高さ約 21m) で、冬季 (2月上旬~4月中旬)・夏季 (7月上旬~9月下旬) に大気エアロゾルの捕集を行った。試料捕集場所周辺は大学などの教育機関や商業用施設、集中住宅などが建ち並び、住宅地として知られ、一般家庭において暖房用として使用される大型石炭ストーブや、木材などのバイオマス燃料を使用した食品調理により排出される汚染物質の影響が考えられる。また、アスファルト舗装された幹線道路が近いこと、当該地点は暖房施設や食品調理に加え、自動車やバイクなどの移動発生源から排出される汚染物質の影響も受けると考えられる。

大気エアロゾルのサンプリングはミニボリュウムエアサンプラー (MP-Σ500N, SHIBATA) 2台を用いて、大気吸引流量 5L/min でフッ素樹脂処理ガラス繊維フィルター (55mmφ, T60A20, 東京ダイレック) 上に行った。捕集する粒子の粒径は制御せず、総浮遊粒子状物質 (Total Suspended Particulate: TSP) を捕集した。フィルターは、1日毎 (捕集時間: 24時間) に交換を行った。すなわち、捕集日毎に粒子が付着したフィルターを2枚得た。

(2) フィルター前処理

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), Nitropolycyclic Aromatic Hydrocarbons (NitroPAHs), Oxygenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (OxyPAHs) 分析用

捕集したエアロゾル試料中のPAHs成分、NitroPAHs成分およびOxyPAHs成分は、55mmφフッ素樹脂処理ガラス繊維フィルター1枚を使用して、以下に示す前処理により試料溶液とした。

- I. フィルターサンプルにPAHs定量用内部標準物質 (4 μM in Acetonitrile, Naphthalene-*d*₈, Phenanthrene-*d*₁₀, Fluoranthene-*d*₁₀, Perylene-*d*₁₂: 和光純薬工業株式会社; Benzo[ghi]perylene-*d*₁₂: Cambridge Isotope Laboratories, Inc.), NitroPAHsおよびOxyPAHs定量用内部標準物質 (4 μM in Acetonitrile, 9-Fluorenone-*d*₈: 関東化学株式会社; 9,10-anthraquinone-*d*₈, 1-nitropyrene-*d*₉, 6-nitrobenzo[a]pyrene-*d*₁₁: CDN Isotopes) をそれぞれ 50 μL, 150 μL ずつ添加し、ジクロロメタン (ナカライテスク株式会社) 100 mL により粒子中の有機画分の超音波抽出を30分間行った。
- II. 抽出液を定性ろ紙 (No. 6, アドバンテック東洋) を用いてろ過した後、300 mL のナスガラスコに移し、ロータリーエバポレーターにより約 5 mL まで濃縮した。
- III. 濃縮液にヘキサン (ナカライテスク株式会社) を 50 mL 添加し、ロータリーエバポレーターにより約 5 mL まで濃縮した後、孔径 0.45 μm の PTFE メンブレンフィルター (GLCTD-PTFE1345, 島津ジーエルシー) によりろ過し、N₂ ガスにより 100 μL ~ 200 μL まで減容した。

IV. この溶液を予め 30 mL ヘキサンでコンディショニングしたシリカ充填カラム (InertSep SI, GL Sciences) に添加し, 40% のジクロロメタン / ヘキサン溶液 50 mL で溶出することで夾雑物の除去 (クリーンアップ) を行った。

この溶出液をロータリーエバポレーターにより約 2 mL まで減容した後, スピッツ管に移し, N₂ ガスにより溶媒を完全に留去した。その後, アセトニトリル (関東化学株式会社) 50 μL と内部標準物質 pyrene-*d*₁₀ (4 μM in Acetonitrile, Cambridge Isotope Laboratories, Inc.) 50 μL を加え, 試料溶液とした。

無機イオン成分, 有機酸成分分析用

捕集されたエアロゾル試料中の無機イオンおよび有機酸成分は, 直径 15 mm のフィルター片をベルトポンチを使用して 2 枚切り抜き, 以下に示す前処理により試料溶液とした。

- I. 切り抜いた直径 15 mm のフィルター片を 2 枚合わせてポリプロピレン製サンプル管 (ニューサンプル管 6 mL, マルエム) に入れ, 4 mL の超純水を加え, 水溶性イオン成分を 20 分間超音波抽出した。
- II. 超音波抽出後, 孔径 0.45 μm のメンブレンフィルター (DISMIC 13HP045CN, アドバンテック東洋) を用いてろ過しサンプル溶液とした。

金属成分分析用

エアロゾルが捕集されたフィルターをベルトポンチを使用して直径 40 mm に切り抜き, 金属成分分析に供した。

(3) 分析

粒子中の有機化合物 (PAHs, NitroPAHs, OxyPAHs) の定性・定量分析を行うためにガスクロマトグラフ質量分析計 (Gas Chromatography/Mass Spectrometer; GC/MS) を用いた。EI 法により PAHs 成分の分析を行った。一方, NitroPAHs 成分および OxyPAHs 成分は大気中濃度が PAHs 成分より 1~3 桁低く, EI 法による分析では感度も十分ではないため, 特異性の高い NCI 法 (負化学イオン化法) を選択した。粒子中のイオン成分および有機酸の測定はイオンクロマトグラフィー (IC) により行った。また, エネルギー分散型蛍光 X 線分析 (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer: EDXRF) で金属成分の濃度を測定した。

4. 研究成果

本研究では欠測値について, 同一試料について複数成分が欠測となった場合はその試料を除外した。欠測率が高い成分はモデルの適合度を低下させるため, データセットから除外した。突発的な外れ値について, コンタミネーションが疑われる試料を解析対象から除外した。その他に, IC と EDXRF において重複する測定対象成分があった (例えば Mg²⁺ と Mg など)。そのような場合, 今回使用したガラス繊維フィルターの材質上の特性によるブランクレベルを考慮し, 測定精度がより高いと考えられる IC の結果を採用した。以上の手法で作成したデータセットを正値行列因子分解 (Positive Matrix Factorization: PMF) モデルに投入し, TSP の発生源解析を行った。PAHs 成分, NitroPAHs 成分, OxyPAHs 成分, 無機イオン成分, 有機酸成分, 金属成分の分析結果より, 石炭燃焼由来・自動車由来・バイオマス燃焼由来・大気内二次生成由来・土壌由来の少なくとも 5 つ以上の発生源が存在することが確認できた。これらを考慮し, PMF モデルによる計算を実行した結果, 「物理的に最適な因子数」として因子数 6 が最適であると判断した。任意の計算開始点から 20 回繰り返し計算を行った結果, 6 つの因子プロファイルとも 8 割以上の再現性が確認された。これらの因子プロファイルの中で, 発生源の指標となりうる特徴的な成分に着目し, それぞれの因子に対応する発生源を推定した。

Factor 1 では代表的な二次生成 NitroPAHs である 2-NFluor とシユウ酸が高い負荷を示したため, 大気内二次生成の寄与が考えられる。また, 2-NFluor とシユウ酸のほか, 高環 PAH の負荷も認められることから, 燃焼の寄与も混在した因子であると考えられる。指標成分のモル濃度比を精査した結果, Factor 1 における [BaA]/([BaA]+[Chry]) 濃度比は 0.29 となり, ガソリン燃焼の寄与が疑われる。また, [IP]/([IP]+[BghiP]) 濃度比は 0.49 となり, 液体化石燃料の寄与を示した。それらに加え更に, 土壌由来の代表的な成分である Al と Fe の負荷も示した。以上の結果より, Factor 1 はガソリン自動車排気由来の粒子, 道路粉塵の再飛散 (土壌由来の粉塵が風により巻き上げられるなど), および大気内二次生成の混合発生源と解釈した。

Factor 2 は 1-NPyr の高い負荷および低環 PAH 成分の高い負荷を示した。1-NPyr は燃焼によって生成する一次排出成分であり 特にディーゼル燃料燃焼の指標となることが知られている。また, 低環 PAH 成分もディーゼル燃料燃焼により高率で生成することが報告されている。したがって, Factor 2 はディーゼル燃料燃焼の寄与を示す因子であると推定される。指標成分のモル濃度比を精査した結果, Factor 2 における [BaA]/([BaA]+[Chry]), [Fluor]/([Fluor]+[Pyr]), [IP]/([IP]+[BghiP]) 濃度比はそれぞれ 0.42, 0.46, 0.49 で, ディーゼル燃焼の領域となった。また, Factor 2 の TSP 濃度に対する寄与濃度は, 夏季より冬季において高くなった。これは, Factor 2 が低環 PAH の負荷が高い因子であることに起因するものと推定される。すなわち, 夏季は気温の上昇によりこれら低環 PAH 類のガス相への分配が大きくなるため, TSP 濃度に対する寄与が夏季に相対的に小さくなったと考えられる。以上の分析によって, Factor 2 はディーゼル燃料燃焼 (主にディーゼル車) の寄与を表す因子と解釈した。

Factor 3 は 9-NAnt と K⁺の高い負荷を示した。9-NAnt と K⁺はバイオマス燃焼による一次排出の指標成分なので、Factor 3 はバイオマス燃焼に由来する因子と考えられる。指標成分のモル濃度比を精査した結果、Factor 3 における [Fluor]/([Fluor]+[Pyr])、[9-NAnt]/[1-NPyr] 濃度比はそれぞれ 1.00、25.73 となり、バイオマス燃焼由来であることを示唆する結果が得られた。Factor 3 は TSP 濃度に対して、夏季より冬季に高い寄与を示した。サンプリング地点から直線距離で 1 km 程度離れた地域には、面積およそ 1km²の退廃地区が存在する。この退廃地区は、冬季における瀋陽市の集中暖房ネットワークに含まれておらず、家庭用の小型ストーブで木材などを燃料として暖を取っている。このことが、冬季のバイオマス燃焼の寄与が夏季における寄与を上回っている一因と考えられる。以上の分析によって、Factor 3 はバイオマス燃焼の寄与を表す因子と解釈した。

Factor 4 は TSP、Al、Fe の高い負荷を示した。Al、Fe は土壌の指標成分であることから、Factor 4 は土壌に起因する因子と考えられる。Factor 4 は明確な季節性を示さなかった。しかし、2月22日には他の観測日のおよそ 10 倍の因子寄与を示した。瀋陽市公的機関のデータによるとこの日は大規模な黄砂が飛来しており、このことは本因子が土壌の影響を強く受けていることを裏付けているが、Factor 4 は土壌の寄与を表す因子と解釈した。

Factor 5 は NO₃⁻、SO₄²⁻およびシュウ酸の高い負荷を示した。一次発生源から排出された SO_x が大気中で酸化されて生成した硫酸は水との二成分均一核生成により容易に粒子化することが知られている。また、二重結合を持つ揮発性・半揮発性芳香族炭化水素（ベンゼン、トルエン、ナフタレンなど）や環状オレフィンなどの化合物は大気中でオゾンによって酸化を受け、ピルビン酸、グリオキサール、グリオキサール酸、マレイン酸などの中間体を経てシュウ酸を生成することが報告されている。このことにより Factor 5 中の NO₃⁻、SO₄²⁻およびシュウ酸は主に二次生成由来と推定した。なお、2-NFluor の負荷も比較的高く、母核 PAH が OH ラジカル反応により生成された二次粒子も混在していると考えられる。Factor 5 の季節変動は見られなかった。一方、Factor 5 には低環 PAH 類化合物の負荷が見られ、燃焼系発生源が存在していると考えられる。指標成分のモル濃度比を精査した結果、Factor 5 中の [Fluor]/([Fluor]+[Pyr])、[IP]/([IP]+[BghiP])濃度比はそれぞれ 0.41、0.40 となり、いずれもディーゼル燃料燃焼由来の範囲内であると分かった。以上のことにより Factor 5 を大気中二次生成とディーゼル燃料燃焼の混合発生源を表す因子であると推定した。

Factor 6 は PAH 類化合物全体に高い負荷を示すことが確認できた。そのことに加え、夏季より冬季における因子寄与が高かったため、Factor 6 は冬季の集中暖房による石炭燃焼に由来する因子であると考えられる。指標成分のモル濃度比を精査した結果、Factor 6 における [BaA]/([BaA]+[Chry])、[Fluor]/([Fluor]+[Pyr])、[1-NPyr]/[Pyr] 濃度比はそれぞれ 0.37、0.53、0.005 で、石炭燃焼に由来する範囲となった。よって、Factor 6 は石炭燃焼の寄与を表す因子と解釈した。

因子プロファイルから推定した各因子の発生源をもとに、瀋陽における各サンプリング期間中の TSP 濃度に対する、各発生源の平均寄与率をそれぞれ Fig. 1 に示す。

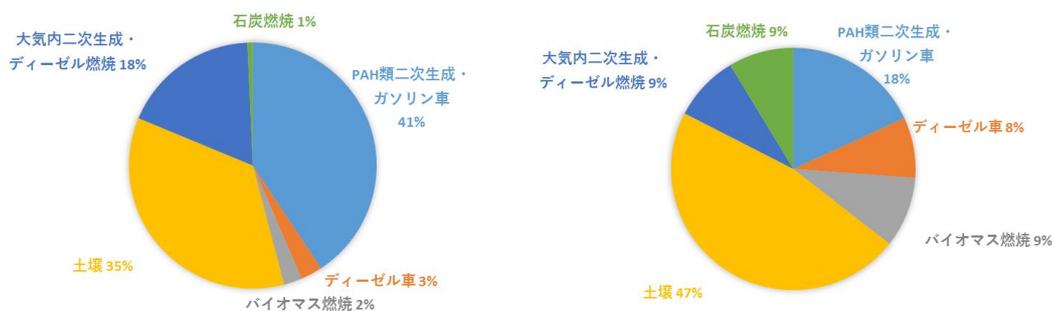


Fig.1 瀋陽における TSP 濃度に対する各発生源の寄与率 (左:冬, 右:夏)

同様の方法で、各サンプリング期間中の PAHs 成分濃度に対する、各発生源の平均寄与率を算出した。冬季の PAHs 発生源における石炭燃焼の相対的な寄与は約 73%を占めた。この寄与率は、夏季には約 12%まで減少した。これは、瀋陽の冬季における大規模な石炭集中暖房が主要な要因と考えられる。また、Factor 1 を二次生成・自動車の混合発生源と解釈したが、無置換 PAHs 成分は基本的に全て燃焼による一次生成物質であると考えられるため、ここでは二次生成ではなくガソリン車の寄与によるものと判断した。ガソリン車の寄与は冬季の 15%から夏季の 67%まで増加した。寄与率の増加にもかかわらず、自動車由来の PAHs 成分の濃度の季節変化が見られなかった。このことから、ガソリン車の寄与は石炭燃焼の寄与が減ることによって相対的に大きくなっただけであると考えられる。以上より、瀋陽における PAHs 成分について、冬季は石炭燃焼、夏季はガソリン自動車为主要な発生源であると考えられる。同様に、NitroPAHs はバイオマス燃焼の寄与、OxyPAHs は大気内二次生成の寄与がそれぞれ無視できないことがわかった。

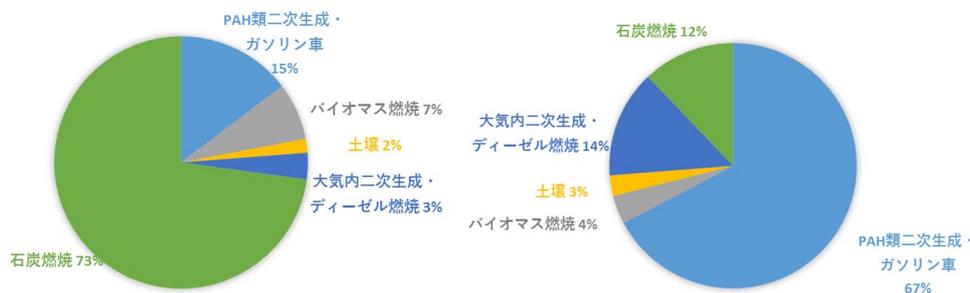


Fig. 2 瀋陽における PAHs 濃度に対する各発生源の寄与率 (左：冬，右：夏)

以上，本研究では PMF モデルで計算した結果から，多環芳香族化合物の発生源寄与の季節変動を明らかにし，各発生源への平均寄与率を算出した．発生源解析を行った結果，多環芳香族化合物は石炭燃焼と自動車排出のほか，NitroPAHs はバイオマス燃焼の寄与，OxyPAHs は大気内二次生成の寄与がそれぞれ無視できないことがわかった．特に，今まで発生源情報が少ない OxyPAHs に関して，多成分間相関関係と PMF 解析を使って，その発生源寄与率を明らかにすることができた．

*本文中の略語と正式名称の対応は以下の通りである。

2-NFluor: 2-Nitrofluoranthene, BaA: Benz[a]anthracene, Chry: Chrysene, IP: Indeno[1,2,3-cd]pyrene, BghiP: Benzo[ghi]perylene, 9-NAnt: 9-Nitroanthracene, Fluor: Fluoranthene, Pyr: Pyrene, 1-NPyr: 1-Nitropyrene

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 5 件)

T. Ohura, T. Suhara, Y. Kamiya, F. Ikemori, S. Kageyama, D. Nakajima: Distributions and multiple sources of chlorinated polycyclic aromatic hydrocarbons in the air over Japan. *Sci. Total Environ.*, 649, 364-371 (2019). 査読有

DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.302

T. Ohura, Y. Horii, N. Yamashita: Spatial distribution and exposure risks of ambient chlorinated polycyclic aromatic hydrocarbons in Tokyo Bay area and network approach to source impacts. *Environ. Pollut.*, 232, 367-374 (2018). 査読有

DOI: 10.1016/j.envpol.2017.09.037

T. Kameda, Secondary formation of polycyclic aromatic compounds in the atmosphere, *Archives of Atmospheric Chemistry Research*, **39**, Article No. 039A03 (2018). 査読有

T. Kameda, K. Asano, H. Bandow, K. Hayakawa, Estimation of rate constants for gas-phase reactions of chrysene, benz[a]anthracene, and benzo[a]anthracene with OH and NO₃ radicals via a relative rate method in CCl₄ liquid phase-system, *Polycyclic Aromat. Compd.*, **37**, 101-105 (2017). 査読有
doi: 10.1080/10406638.2016.1159583

Y. Kamiya, T. Kameda, T. Ohura, S. Tohno, Determination of Particle-associated PAH Derivatives (CIPAHs, NPAHs, OPAHs) in Ambient Air and Automobile Exhaust by Gas Chromatography/Mass Spectrometry with Negative Chemical Ionization, *Polycyclic Aromat. Compd.*, **37**, 128-140 (2017). 査読有

DOI: 10.1080/10406638.2016.1202290

Y. Wang, R. Liao, W. Liu, K. Kannan, T. Ohura, M. Wu, J. Ma: Chlorinated polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediment from Maowei Sea, Guangxi, China: occurrence, distribution, and source apportionment. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 16241-16252 (2017). 査読有

doi: 10.1007/s11356-017-9193-0

K. Kakimoto, H. Nagayoshi, Y. Konishi, K. Kajimura, T. Ohura, T. Nakano, M. Hata, M. Furuuchi, N. Tang, K. Hayakawa, A. Toriba: Size distribution of chlorinated polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric particles. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **72**, 58-64 (2017). 査読有

DOI: 10.1007/s00244-016-0327-z

N. Tang, G. Suzuki, H. Morisaki, T. Tokuda, X. Yang, L. Zhao, J. Lin, T. Kameda, A. Toriba, K. Hayakawa, Atmospheric behaviors of particulate-bound polycyclic aromatic hydrocarbons and nitropolycyclic aromatic hydrocarbons in Beijing, China from 2004 to 2010, *Atmos. Environ.*, **152**, 354-361 (2017). 査読有

http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.12.056

A. Toriba, C. Homma, M. Kita, W. Uozaki, Y. Boongla, W. Orakij, N. Tang, T. Kameda, K. Hayakawa, Simultaneous determination of polycyclic aromatic hydrocarbon quinones by gas chromatography-tandem mass spectrometry, following a one-pot reductive trimethylsilyl

derivatization, *J. Chromatogr. A*, **1459**, 89-100 (2016). 査読有
doi:10.1016/j.chroma.2016.06.034

K. Hayakawa, F. Makino, M. Yasuma, S. Yoshita, Y. Chondo, A. Toriba, T. Kameda, C-S. Hong, N. Tang, M. Kumagai, H. Nakase, C. Kinoshita, T. Kawanishi, Z. Zhou, W. Qing, V. Mishukov, P. Tishchenko, V. Lobanov, T. Chizhova, Y. Konoudryasho, Polycyclic aromatic hydrocarbons in surface water of the Southeastern Japan Sea, *Chem. Pharm. Bull.*, **64**, 625-631 (2016). 査読有
http://doi.org/10.1248/cpb.c16-00063

J.P. Miller-Schulze, M. Paulsen, T. Kameda, A. Toriba, K. Hayakawa, B. Cassidy, L. Naeher, M.A. Villalobos, C.D. Simpson, Nitro-PAH exposures of occupationally-exposed traffic workers and associated urinary 1-nitropyrene metabolite concentrations, *J. Environ. Sci.*, **49**, 213-221 (2016). 査読有
http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2016.06.007

Y. Kamiya, A. Iijima, F. Ikemori, T. Okuda, T. Ohura: Source apportionment of chlorinated polycyclic aromatic hydrocarbons associated with ambient particles in a Japanese megacity. *Sci. Rep.*, **6**, 38358 (2016). 査読有
DOI: 10.1038/srep38358

P. Goswami, T. Ohura, K. S. Guruge, M. Yoshioka, N. Yamanaka, M. Akiba, N. Munuswamy: Spatio-temporal distribution, source, and genotoxic potential of polycyclic aromatic hydrocarbons in estuarine and riverine sediments from southern India. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **130**, 113-123 (2016). 査読有
DOI: 10.1016/j.ecoenv.2016.04.016

T. Ohura, Y. Kamiya, F. Ikemori: Local and seasonal variations in concentrations of chlorinated polycyclic aromatic hydrocarbons associated with particles in a Japanese megacity. *J. Hazard. Mater.*, **312**, 254-261 (2016). 査読有
DOI: 10.1016/j.jhazmat.2016.03.072

T. Ohura, M. Miwa: Photochlorination of polycyclic aromatic hydrocarbons in acidic brine solution. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **96**, 524-529 (2016). 査読有
DOI: 10.1007/s00128-015-1723-1

〔学会発表〕(計2件)

亀田貴之, 大気輸送中の PAH 類の化学反応と毒性の変化, 日本薬学会第 139 年会一般シンポジウム, 2019.

亀田貴之, 大気環境中の化学反応によって生成する有害化学物質, 第 31 回環境工学連合講演会, 2018.

T. Kameda, Mineral dust aerosols promote the nitration of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons, The 2nd International Workshop on Heterogeneous Kinetics Related to Atmospheric Aerosols, 2016.

〔図書〕(計2件)

T. Kameda, Atmospheric Reactions of PAH Derivatives: Formation and Degradation, *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons - Environmental Behavior and Toxicity in East Asia*, (K. Hayakawa, Ed.), p.75-91, Springer Nature, Singapore (2018).

T. Kameda, Secondary formation of toxic nitropolycyclic aromatic hydrocarbons promoted on mineral dust aerosols, *Trans-Boundary Pollution in North-East Asia*, (K. Hayakawa, Ed.), p. 129-145, Nova Science Publishers, NY (2018).

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：大浦 健

ローマ字氏名：(OHURA, Takeshi)

所属研究機関名：名城大学

部局名：農学部

職名：教授

研究者番号(8桁)：60315851

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、研究者個人に帰属されます。