

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01906

研究課題名(和文) 黄砂の触媒作用による有害PAH酸化体の大気内二次生成：越境輸送と健康影響

研究課題名(英文) Secondary Formation of Toxic Oxy-PAHs in the Atmosphere Catalyzed by Asian Dust: Cross-Border Transport and Health Effects

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・教授

研究者番号：50398426

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では黄砂表面におけるPAH酸化体の二次生成反応，とりわけ，生体内で酸化ストレスを誘導し，呼吸器・循環器疾患やアレルギー疾患増悪作用をもたらすPAHキノンの非意図的生成に関わる反応について，模擬大気実験系を用いた反応実験および実大気観測を行い，(1)黄砂によって触媒される大気内PAH酸化体(キノン)生成反応過程の解明，(2)実大気中の黄砂表面における有害PAH酸化体生成の検証を試みるとともに，反応生成物及び実大気黄砂試料に検出されたPAH酸化体に対するバイオアッセイによって，(3)呼吸器系・循環器系・アレルギー性疾患などの生体影響との関連を明らかにすることを旨とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

黄砂発生時には呼吸器・循環器系疾患の増加，アレルギー性疾患の悪化が生じることなどが報告されているが，その作用主体は依然として不明なままである。PAH酸化体の一種であるPAHキノンは，呼吸器・循環器系疾患の要因となる活性酸素種を体内で過剰に産生するだけでなく，アレルギー性疾患の発症に関与することが報告されている。高活性な黄砂表面において，中国で発生する高濃度の大气汚染物質を原料にこれらPAHキノンは二次生成し，日本に越境輸送されることが判明すれば，これまで解明されていなかった黄砂による健康被害の原因主体特定の飛躍的な一歩となる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to clarify the relationship between the secondary formation reaction of oxy-PAHs on the surface of mineral dust aerosols (MDA), especially the reaction related to the unintended formation of PAH quinones, which induce oxidative stress in vivo and cause respiratory and circulatory diseases and allergic diseases, and the biological effects of respiratory, circulatory, and allergic diseases by (1) elucidation of the formation reaction process of oxy-PAHs (quinone) in the atmosphere catalyzed by MDA, (2) verification of the formation of the PAH oxidants on the surface of MDA in the real atmosphere, and (3) bioassay for oxy-PAHs detected in reaction products and samples of MDA in the real atmosphere.

研究分野：大気環境科学

キーワード：黄砂 PAHs 酸化PAHs 大気反応 二次生成 健康影響 酸化能

様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

13 億人を超える人口を擁する中国では、近年、急速な産業発展を支えるエネルギーの消費量が急増し、それに伴って環境問題が深刻化している。また同時に、日本に長距離輸送される硫黄酸化物や窒素酸化物、オゾン等大気汚染物質の影響も重要視されている。中国は主要エネルギーを石炭に頼り、特に冬季の暖房期の都市では、排煙による浮遊粒子状物質や SO₂ の濃度が極めて高いことが知られている。また中国において、燃焼起源有機化合物である多環芳香族炭化水素 (PAH) の大気中濃度も日本の数十～数百倍に達することが知られており、これら PAH は SO₂ 等と同様に日本海を越えて日本に越境輸送されることも報告されている。PAH は燃焼時に空気や燃料中の酸素と反応して、PAH キノンなどの酸化誘導体となる。PAH キノンは生体内で活性酸素を生成し、呼吸器・循環器系疾患やアレルギー性疾患をもたらすことが指摘されている (Koike et al., 2014.)。また、これら PAH キノンは、大気内輸送時における PAH の酸化反応によっても二次生成することが認められている。なお、主たる酸化剤であるオゾンは、中国大陸で発生する高濃度の前駆物質から生成し、隣国へ越境輸送されることがわかっている (Tanimoto, 2009.)。

一方、同じく中国を発生源とする黄砂も、春先になると偏西風とともに日本列島に到来し、その頻度は近年増加の一途を辿っている。黄砂が人間の生活に及ぼす影響は、視程悪化にともなう交通機関の運行障害、農作物の生育不良等のほか、呼吸器・循環器系疾患やアレルギー性疾患に対する増悪作用などの健康被害が発生することも報告されているが、その原因物質は明らかになっていない。黄砂は NO₂ などの酸性ガスを容易に吸着するだけでなく、鉱物としての特異な表面性状を有するため、高活性の反応場となることが報告されている (Yamada et al., 2005.)。我々は中国北京における観測により、大気中の PAH ニトロ体 (NPAH) 濃度が黄砂飛来時に著しく増加することを見出した。そして、これは黄砂に含まれる粘土鉱物の触媒作用によって大気中で PAH が特異的にニトロ化された結果であることを、模擬大気実験系における反応実験により明らかにした (Kameda et al., 2016.)。黄砂粒子の約 60% は SiO₂ で構成されているが、この SiO₂ 結晶上においては PAH の酸化分解が非常に速く進行する可能性が指摘されている (Tamamura et al., 2006.)。従って、上述の通り中国で大量に発生した PAH が高濃度のオゾンとともに日本へ飛来するとすれば、NPAH と同じく黄砂表面における反応により、有害性の高いキノン類などの PAH 酸化体をも容易に生成する恐れがある。しかしながら、黄砂表面におけるこれら PAH 酸化体の二次生成や越境輸送を実証した研究例はなく、また黄砂による種々の健康被害がこれら二次生成 PAH 酸化体によってもたらされている可能性を指摘した例はない。

2. 研究の目的

上記のような背景を踏まえ、本研究では黄砂表面における PAH 酸化体の二次生成反応、とりわけ、生体内で酸化ストレスを誘導し、呼吸器・循環器疾患やアレルギー疾患増悪作用をもたらす PAH キノンの非意図的生成に関わる反応について、模擬大気実験系を用いた反応実験および実大気観測を行い、(1) 黄砂によって触媒される大気内 PAH 酸化体 (キノン) 生成反応過程の解明、(2) 実大気中の黄砂表面における有害 PAH 酸化体生成の検証を試みるとともに、反応生成物及び実大気黄砂試料に検出された PAH 酸化体に対するバイオアッセイによって、(3) 呼吸器系・循環器系・アレルギー性疾患などの生体影響との関連を明らかにすることを目指した。

3. 研究の方法

(1) 黄砂によって触媒される大気内 PAH 酸化体生成反応過程の解明

①室内実験

PAH として 9,10-Phenanthrenequinone (PheQ) の親化合物である Phenanthrene (Phe) を選び、黄砂を模した種々の鉱物粒子表面においてオゾンとの反応による PheQ の二次生成を検証した。300mg の鉱物担体粒子を 30 μMPhe-ジクロロメタン (DCM) 溶液 10ml に浸漬させ、減圧下で DCM を留去することで Phe 担持粒子 (~1 nmol/mg) を得た。反応系はオゾン発生器 (ED-OG-L7, エコデザイン(株))、パイレックス製リアクター、オゾン計 (Model1200, Dylec) などにより構成した。Phe 担持粒子を配したリアクターに暗所にて 1 ppmv のオゾンを流通させ、反応後に残存する Phe および生成物を DCM で抽出・濃縮し、GC/MS にて定量した。

②化学計算

密度汎関数法 (Density Functional Theory ; DFT) を使い、B3LYP/6-31G(d)計算レベルで Phe から PheQ を含む主要生成物に至る反応経路の機構探索を試みた。反応経路中の反応物、生成物および遷移状態 (Transition State; TS) について、構造最適化計算を行い、最適化された構造とその全エネルギーを求めた。それらの構造を使って振動数解析を実施し、得られたゼロ点補正エネルギーを全エネルギーに加えた上で、反応経路における各素反応のギブズ自由エネルギーおよび活性化自由エネルギーを算出した。

③実大気中の黄砂表面における有害 PAH 酸化体生成の検証

大気中 PAH が高濃度となることが予想され、なおかつ砂嵐が高い頻度で発生する中国内モンゴル・フフホト市において、2015 年 11 月 6 日～11 月 30 日の期間、24 時間毎に捕集した大気エアロゾル (TSP) を試料として用いた。大気エアロゾルはローボリュームエアサンプラー (流速: 5 L/min) を使い、フッ素樹脂処理ガラス繊維フィルター (T60A20, Pall) 上に捕集した。エアロゾル中 PAH および PheQ を DCM により抽出し、蛍光検出 HPLC により定量し

た。

(2) 反応生成物及び実大気黄砂試料に検出された PAH 酸化体に対するバイオアッセイ

正常ヒト気道上皮細胞株 BEAS-2B 細胞を使用し、気道上皮細胞用の無血清培地 LHC-9 Medium (Life technologies, Carlsbad, CA, USA) を用いて培養した。コラーゲン I コートされたプレートに 7.5×10^4 cells/mL の BEAS-2B 細胞懸濁液を播種し、semi-confluent な状態まで培養後、調製した被検物質を 24 時間曝露した。曝露後、細胞活性を、Water soluble tetrazolium-1 (WST-1) を用いた比色法により、Apoptosis, Necrosis の検出を、ANNEXIN V-FITC/7-AAD KIT を用いた検出法により、interleukin (IL) -6, IL-8, soluble intercellular adhesion molecule (sICAM) -1 などのサイトカインの産生を、Enzyme linked immuno sorbent assay (以下 ELISA) 法により、酸化ストレス評価を Reactive Oxygen Species (ROS) 生成の測定により、それぞれ解析した。被検物質として、4,5-pyrenequinone (4,5-PyQ), 1,8-pyrenequinone と 1,6-pyrenequinone の混合体 (1,8-PyQ + 1,6-PyQ), pyrene のそれぞれの終濃度を $1 \mu\text{M}$, $3 \mu\text{M}$, $10 \mu\text{M}$ となるよう培地を用いて調製した (各 0.1% DMSO)。実験データは、 $n=4$ とし、実験の平均値 ± 標準誤差を代表例として示した。多群間の平均値の値 (① Control に対する被験物質との差 ② 被験物質同濃度における差) について、Tukey の多重比較検定を行い、 $p < 0.05$ を有意とした。

4. 研究成果

(1) 黄砂によって触媒される大気内 PAH 酸化体生成反応過程の解明

① 室内実験

黄砂粒子表面における PheQ 二次生成促進の要因を明らかにするため、ダストのモデル粒子 (Chinese desert dust; CDD) 上においてオゾンによる Phe の酸化反応実験を行った。CDD 上における生成物 (PheQ を含む) の収率や生成比を、ダストの主要構成成分であるシリカなど種々の鉱物粒子上における反応の結果と比較した。CDD 上においては 1 時間の反応で Phe の 90% 以上が反応し、最大約 12% の収率で PheQ の生成が確認できた。それに対して、シリカ粒子上においては ATD より反応の進行が緩慢で、PheQ の最大収率はわずか 1.5% であった (図 1)。Phe の開環酸化物である 1,1'-biphenyl-2,2'-dicarboxaldehyde (BDA) はほとんどの担体上において、生成物中で最も多く生成した。生成物中の PheQ の分布をもとに担体を分類したところ、モンモリロナイト、カオリナイトなど粘土鉱物上の反応において PheQ の生成分布が大きくなる傾向が見てとれた。とりわけ表面を酸処理したモンモリロナイト K10 (Mont K10) 上の反応では生成物の大部分が PheQ であり、その収率も 83% と他の担体上の反応に比べて著しく高かった (図 1)。一方、シリカ、長石類、石灰岩などの粒子上では、PheQ 分布が粘土鉱物上の場合と比較して小さい傾向を示した。この結果より、黄砂に含まれる粘土鉱物、とりわけ粘土鉱物表面が示す固体酸としての性質が、Phe とオゾンの反応によって生成する PheQ の分布に大きく影響するものと推察された。なお、対照としたグラファイト粒子 (すすの代替) の上ではオゾンと Phe との反応は非常に緩慢であり、PheQ も生成しなかったことから、燃焼排気粒子上における Phe-オゾン反応による PheQ の大気内二次生成は起こり難く、この反応は黄砂など土壌性ダスト上で特異的に進行するものと考えられた。

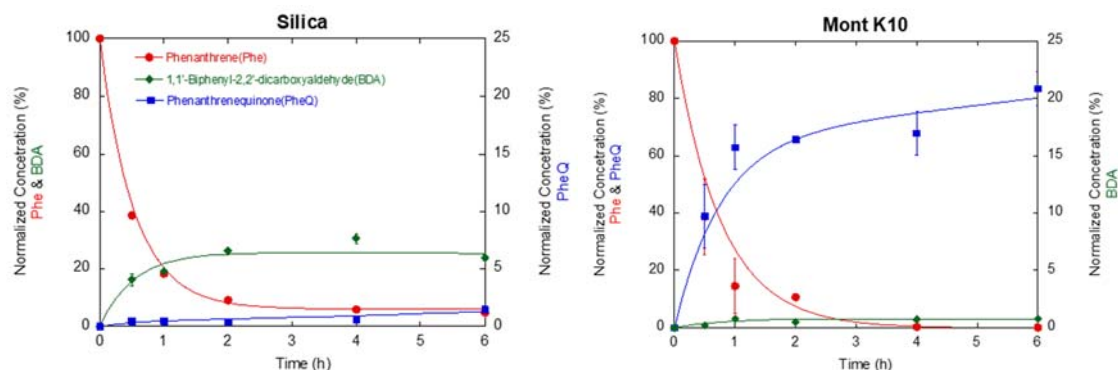


図 1 シリカと Mont K10 上における Phe-オゾン反応による Phe と生成物の濃度変化

② 化学計算

PAH のオゾン酸化反応において既に報告されている機構は以下の通りである。PAH が Phe の場合、一分子のオゾンが Bond-localization が最も低い 9, 10 位の C-C 二重結合との付加反応を起こし、Primary Ozonide (POZ) を生成する。POZ は構造内に不安定な O-O 単結合を二つ持っているため、その内の一つの O-O 単結合が切れるとともに、Phe 分子の平面構造が壊れ、双性イオンである中間体 Criegee Intermediate (CI) になる。それ以降の反応機構に関する報告は限定的であるが、BDA と PheQ は分子構造が大きく異なっており、同じ反応経路下で逐次的に得られた生成物である可能性は低く、室内反応実験の結果からも PheQ 生成反応と BDA 生成反応は併発したものと考えられる。本研究で提案した BDA 生成経路における反応のエネルギー変化を図 2 に、PheQ 生成経路における反応のエネルギー変化を図 3 に示す。

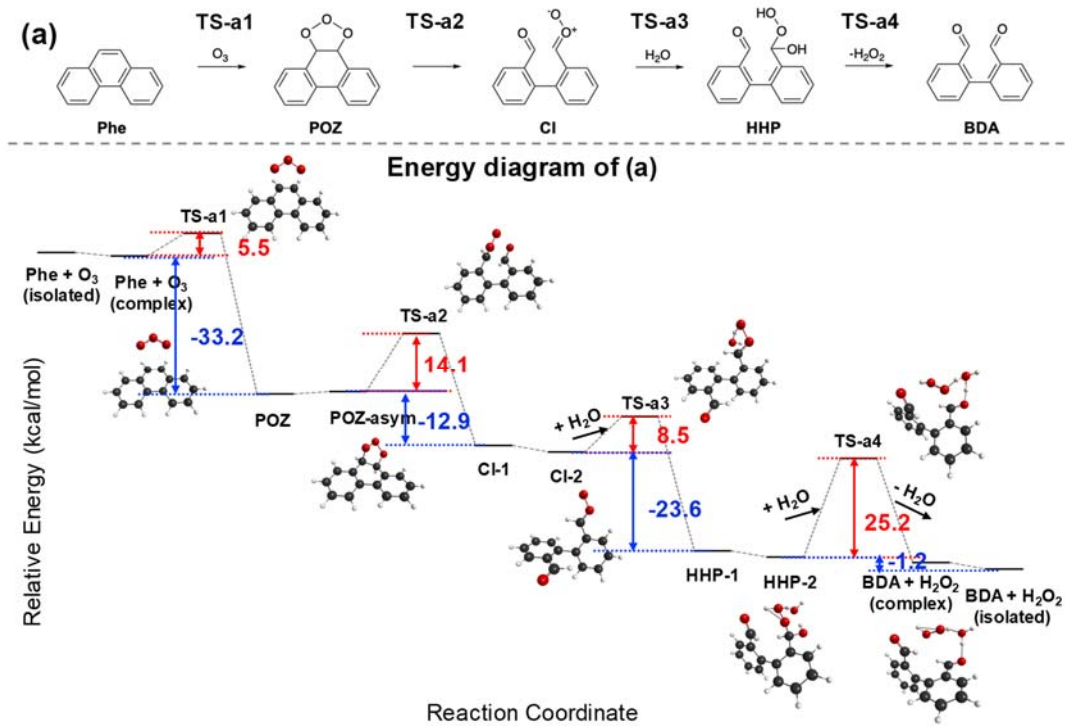


図2 BDA 生成経路のエネルギーダイアグラム

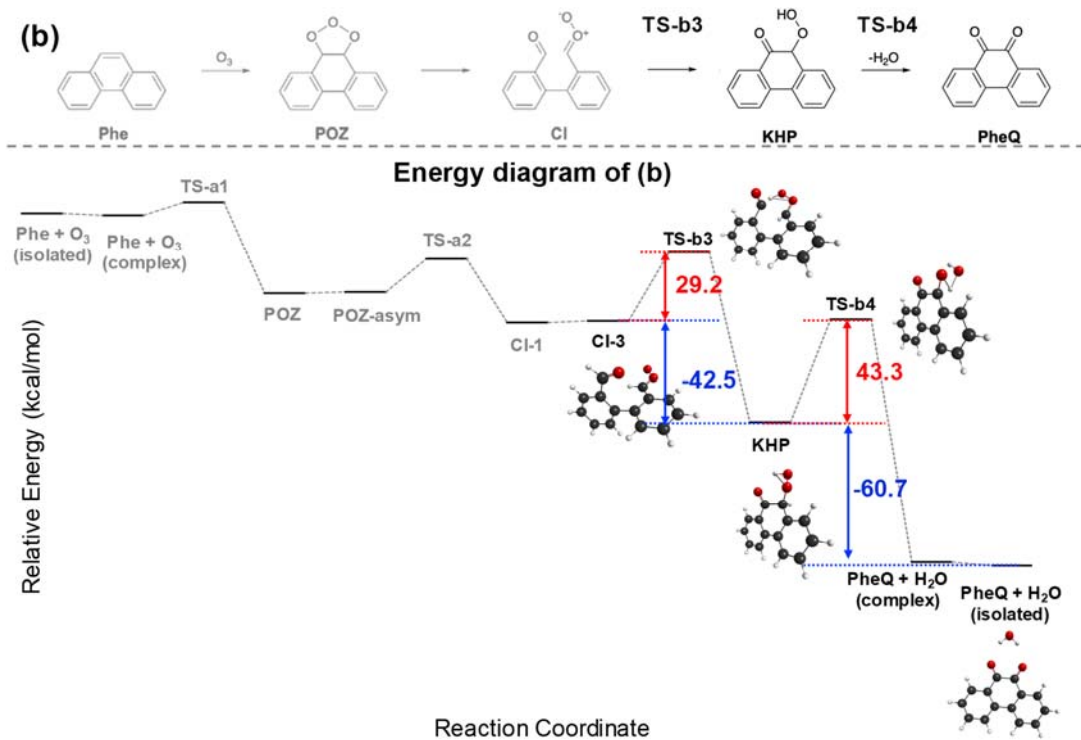


図3 PheQ 生成経路のエネルギーダイアグラム

得られた BDA 生成経路における各素反応の活性化自由エネルギーは 25 kcal/mol 以下と低く、これらの反応は室温でも進行すると考えられる。一方 PheQ 生成経路においては、CI までの反応は BDA 生成経路と共通だが、その後活性化自由エネルギーの大きな遷移状態を経なければ PheQ が生成しないことがわかった。このことは室内実験において BDA が PheQ に比べて優先的に生成したことから矛盾しない。粘土鉱物上での反応ではこれらの反応の活性化自由エネルギーを下げる作用が働いていると推察され、その解明には更なる実験的・理論的な検証が必要である。

(2) 反応生成物及び実大気黄砂試料に検出された PAH 酸化体に対するバイオアッセイ Pyrene およびそのキノン体が気道上皮細胞の ROS 産生に及ぼす影響

Pyrene, 4,5-PyQ, 1,8-PyQ+1,6-PyQ の濃度が 1 μ M, 3 μ M, 10 μ M の時、ROS 産生量について検討したところ、1 μ M の時、Control と比較すると、Pyrene 曝露及び 1,8-PyQ+1,6-PyQ 曝露では

ROS 産生量に有意な差は認められなかったが、4,5-PyQ 曝露では ROS 産生量の増加が認められた (** $p < 0.01$ versus control)。3 μM , 10 μM の時、Control と比較すると、Pyrene 曝露では ROS 産生量に有意な差は認められなかったが、4,5-PyQ 曝露及び 1,8-PyQ+1,6-PyQ 曝露では ROS 産生量の増加が認められた (** $p < 0.01$ versus control)。化学物質間の比較では、1 μM の時、Pyrene 曝露と比較して、4,5-PyQ 曝露では ROS 産生量の増加が認められたが、1,8-PyQ+1,6-PyQ 曝露では有意な差は認められなかった (## $p < 0.01$ versus pyrene at the same concentration)。4,5-PyQ 曝露と 1,8-PyQ+1,6-PyQ 曝露の比較では、有意な差は認められなかった。3 μM , 10 μM の時、Pyrene 曝露と比較して、4,5-PyQ 曝露及び 1,8-PyQ+1,6-PyQ 曝露では ROS 産生量の増加が認められた (## $p < 0.01$ versus pyrene at the same concentration)。4,5-PyQ 曝露と 1,8-PyQ+1,6-PyQ 曝露の比較では、4,5-PyQ 曝露において ROS 産生量の増加が認められた (§§ $p < 0.01$ each other)(図 4)。Pyrene, 4,5-PyQ, 1,8-PyQ+1,6-PyQ の濃度が 1 μM , 3 μM , 10 μM の時、ROS 産生量について検討したところ、1 μM の時、Control と比較すると、Pyrene 曝露及び 4,5-PyQ 曝露では、ROS 産生量に有意な差は認められなかったが、1,8-PyQ+1,6-PyQ 曝露では ROS 産生量の増加が認められた (** $p < 0.01$ versus control)。3 μM , 10 μM の時も同様の結果を示した。化学物質間の比較では、1 μM の時、Pyrene 曝露と比較して、4,5-PyQ 曝露では ROS 産生量に有意な差は認められなかったが、1,8-PyQ+1,6-PyQ 曝露では、ROS 産生量の増加が認められた (## $p < 0.01$ versus pyrene at the same concentration)。4,5-PyQ 曝露と 1,8-PyQ+1,6-PyQ 曝露の比較では、1,8-PyQ+1,6-PyQ 曝露において、ROS 産生量の増加が認められた (§§ $p < 0.01$ each other)。3 μM , 10 μM の時も同様の結果を示した(図 4)。

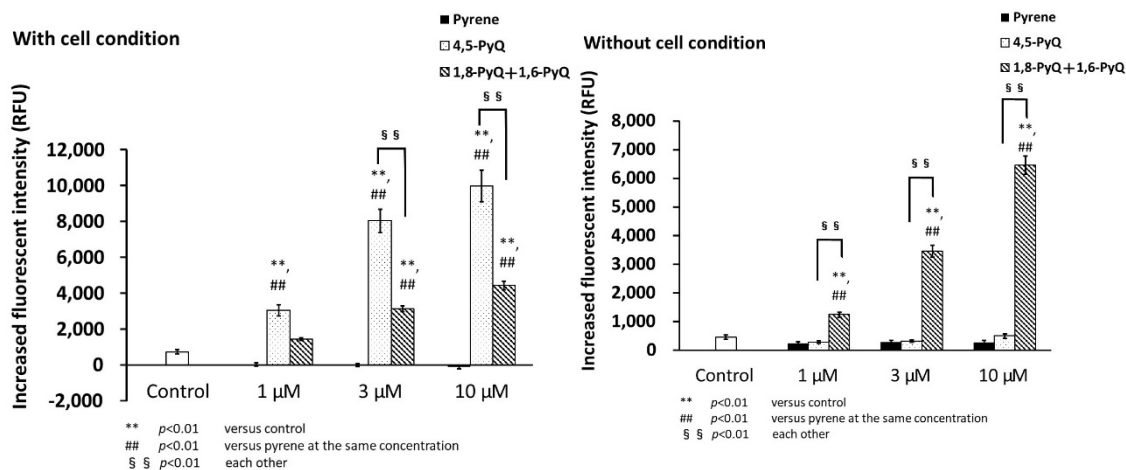


図 4 Pyrene およびそのキノン体の 3 時間曝露が細胞存在下および非存在下における ROS 産生に及ぼす影響

Pyrene が殆ど毒性を示さなかったのに対し、そのキノン体である 4,5-PyQ, 1,8-PyQ+1,6-PyQ には毒性が確認された。特に 4,5-PyQ は低濃度でも著しい細胞活性の低下と細胞死を示し、1,8-PyQ と 1,6-PyQ の混合物よりも強い毒性を持つことが示された。また、それは細胞内外の ROS 産生が一部関与している可能性が考えられた。催炎症性の液性因子 (IL-6, IL-8, sICAM-1) の産生は、一部の曝露濃度に呼応して増加も観察されたが、キノン体の高濃度での急激な減少の方が目立ち、これは、急激な細胞死により減少したと推察される。従って、Pyrene よりも、そのキノン体の方が、呼吸器疾患の悪化に深く関与する可能性があり、酸素の配位置によってもその影響が異なることが示唆された。

<引用文献>

- T. Kameda, E. Azumi, A. Fukushima, N. Tang, A. Matsuki, Y. Kamiya, A. Toriba, K. Hayakawa, Mineral dust aerosols promote the formation of toxic nitropolycyclic aromatic compounds, *Sci. Rep.*, **6**, 24427 (2016).
- E. Koike, R. Yanagisawa, H. Takano, Toxicological effects of polycyclic aromatic hydrocarbons and their derivatives on respiratory cells, *Atmos. Environ.*, **97**, 529-536 (2014).
- S. Tamamura, T. Sato, Y. Ota, N. Tang, K. Hayakawa, Decomposition of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) on Mineral Surface under Controlled Relative Humidity, *Acta Geologica Sinica*, <https://doi.org/10.1111/j.1755-6724.2006.tb00229.x> (2006).
- H. Tanimoto, Increase in springtime tropospheric ozone at a mountainous site in Japan for the period 1998–2006, *Atmos. Environ.*, **43**, 1358-1363 (2009).
- M. Yamada, Y. Iwasaka, A. Matsuki, D. Trochkin, Y. S. Kim, D. Zhang, T. Nagatani, G.-Y. Shi, M. Nagatani, H. Nakata, Z. Shen, B. Chen, G. Li, Feature of Dust Particles in the Spring Free Troposphere over Dunhuang in Northwestern China: Electron Microscopic Experiments on Individual Particles Collected with a Balloon-borne Impactor, *Water Air & Soil Pollution Focus*, **5**, 231-250 (2005).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 亀田 貴之	4. 巻 39
2. 論文標題 多環芳香族化合物の大気内二次生成	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 大気化学研究	6. 最初と最後の頁 039A03
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 亀田 貴之	4. 巻 31
2. 論文標題 大気環境中の化学反応によって生成する有害化学物質	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第31回環境工学連合講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 13-16
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 無
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 T. Kameda, K. Asano, H. Bandow, K. Hayakawa	4. 巻 37
2. 論文標題 Estimation of rate constants for gas-phase reactions of chrysene, benz[a]anthracene, and benzanthrone with OH and NO ₃ radicals via a relative rate method in CCl ₄ liquid phase-system	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Polycyclic Aromat. Compd.	6. 最初と最後の頁 101-105
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/10406638.2016.1159583	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 Y. Kamiya, T. Kameda, T. Ohura, S. Tohno	4. 巻 37
2. 論文標題 Determination of Particle-associated PAH Derivatives (CIPAHs, NPAHs, OPAHs) in Ambient Air and Automobile Exhaust by Gas Chromatography/Mass Spectrometry with Negative Chemical Ionization	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Polycyclic Aromat. Compd.	6. 最初と最後の頁 128-140
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/10406638.2016.1202290	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 L. Zhang, T. Tokuda, L. Yang, Q. Zhou, X. Zhang, W. Xing, Q. Wu, Z. Zhou, R. Chen, T. Kameda, A. Toriba, K. Hayakawa, N. Tang	4. 巻 13
2. 論文標題 Characteristics and health risks of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons and nitro-polycyclic aromatic hydrocarbons at urban and suburban elementary schools in Shanghai	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Asian J. Atmos. Environ.	6. 最初と最後の頁 266-275
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.5572/ajae.2019.13.4.266	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 亀田 貴之	4. 巻 35
2. 論文標題 化学反応場としての黄砂 - 多環芳香族化合物の二次生成 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 エアロゾル研究	6. 最初と最後の頁 14-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.11203/jar.35.14	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 -

[学会発表] 計14件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 亀田 貴之
2. 発表標題 大気環境中の化学反応によって生成する有害化学物質
3. 学会等名 第31回環境工学連合講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 亀田 貴之
2. 発表標題 大気輸送中のPAH類の化学反応と毒性の変化
3. 学会等名 日本薬学会第139年会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kurita, H., Fujii, Yusuke, Tohno, S., Saito, N., Kamiya, Y., Kameda, T., Hitzenberger, R., Haller, T., Ikeda, K., Sakai, N., Sulong, N.A., Latif, M.T., Ohura, T.
2. 発表標題 Comprehensive assessment of carbonaceous PM2.5 in Malaysia during haze events influenced by Indonesia peatland fire and non-haze period
3. 学会等名 10th International Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 亀田貴之, 大久保力斗, 東野 達
2. 発表標題 ビレンキノンの大気粒子中濃度と酸化能評価
3. 学会等名 第35回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Gao Yatong, 亀田貴之, Dule, 東野 達
2. 発表標題 鉱物エアロゾル上におけるPAHとオゾンとの反応によるPAHキノンの二次生成
3. 学会等名 第59回大気環境学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大久保力斗, 亀田貴之, 東野 達
2. 発表標題 DTTアッセイを用いたPAHキノン化合物の評価
3. 学会等名 第59回大気環境学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 亀田貴之, 張 子丹, 東野 達
2. 発表標題 PM2.5中多環芳香族炭化水素 (PAH, nitro-PAH, oxy-PAH) 日内濃度変動の高時間分解能解析
3. 学会等名 第59回大気環境学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 亀田 貴之, Dule, 東野 達
2. 発表標題 鉱物エアロゾル上におけるフェナントレンとオゾンとの反応による9,10-フェナントレンキノンの二次生成
3. 学会等名 第34回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 剣崎佑多, 亀田 貴之, 東野 達
2. 発表標題 ポストカラム誘導体化 - 蛍光検出二次元高速液体クロマトグラフィを用いた大気粒子中9,10-フェナントレンキノンの分析
3. 学会等名 第58回大気環境学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 神谷 優太, 亀田 貴之, 松木 篤, 大浦 健, 東野 達
2. 発表標題 能登半島珠洲および京都における大気中多環芳香族誘導体の通年観測
3. 学会等名 第58回大気環境学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 亀田 貴之, Dule, Gao Yatong, 東野 達
2. 発表標題 鉱物エアロゾル上におけるphenanthreneとO3との不均一反応による9,10-phenanthrenequinoneの二次生成
3. 学会等名 第58回大気環境学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 亀田 貴之
2. 発表標題 大気に浮かぶ小さな粒子-黄砂やPM2.5のはなし
3. 学会等名 第35回京都大学地球環境フォーラム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Okubo, R., Kameda, T., Tohno, S
2. 発表標題 Evaluation of oxidative potential of pyrenequinone isomers by the DTT assay
3. 学会等名 26th International Symposium on Polycyclic Aromatic Compounds (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 春井直斗, 亀田貴之, Gao Yatong, Dule, 東野 達
2. 発表標題 鉱物エアロゾル上におけるROS 生成誘因有機化合物の二次生成
3. 学会等名 第60回大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 T. Kameda	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Nova Science Publishers	5. 総ページ数 287
3. 書名 Trans-Boundary Pollution in North-East Asia	

1. 著者名 T. Kameda	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer Nature	5. 総ページ数 274
3. 書名 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons - Environmental Behavior and Toxicity in East Asia	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	本田 晶子 (Honda Akiko) (20454324)	京都大学・地球環境学堂・助教 (14301)	
研究分担者	高野 裕久 (Takano Hirohisa) (60281698)	京都大学・地球環境学堂・教授 (14301)	