

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11676

研究課題名(和文) 活性酸素を生成する大気中多環芳香族炭化水素類の粒径分布解析と毒性評価

研究課題名(英文) Evaluation of size distribution and toxicity of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbon quinones generating reactive oxygen species

研究代表者

鳥羽 陽 (Toriba, Akira)

長崎大学・医歯薬学総合研究科(薬学系)・教授

研究者番号：50313680

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：日本国内の2地点で大気粉じんをナノ粒子(PM_{0.1})まで粒径別に捕集し、多環芳香族炭化水素キノン(PAHQ)類の粒径分布や発生源を解析した結果、重量あたりの粒径別PAHQ濃度では、ナノ粒子中に最も高濃度に同在しており、ナノ粒子を介したPAHQ曝露が実際に起こりうる事が判明した。また、大気内での二次生成や自動車排ガスがPAHQの主要な発生源であることが分かった。さらに、ジチオスレイトール(DTT)アッセイにより各粒径画分の活性酸素種(ROS)産生能を測定した結果、粒径が小さい程ROS産生能が高く、PAHQの寄与は10%程度であり、ナノ粒子の毒性が大きな粒径画分より強い可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

活性酸素(ROS)を生成して循環器疾患やアレルギー疾患、喘息等を増悪させる可能性がある多環芳香族炭化水素キノン(PAHQ)類は、大気汚染実態が不明な有機汚染物質であり、微量でも急性影響を示す可能性がある。本研究により、都市大気におけるPAHQのナノ粒子を含む粒径分布、環境動態や発生源、各粒径ごとのROS産生毒性に対する寄与度が初めて明らかとなり、粒径ごとのPAHQ濃度とROS産生に関する毒性との関係が明確になった。得られた成果は健康影響の観点でPM_{2.5}に含まれるより微細な粒子(ナノ粒子)の健康影響の議論や、環境基準などによる規制の必要性に関する判断材料に成り得る。

研究成果の概要(英文)：Nanoparticles (PM_{0.1}) with a particle size smaller than 0.1 μm were collected at two sites in Japan, and the particle size distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbon quinones (PAHQs) were analyzed. The results showed that the highest concentrations of PAHQ were distributed in nanoparticles, indicating that PAHQ exposure via nanoparticles may really occur. Secondary formation in the atmosphere and automobile emissions were found to be the major sources of PAHQ. Furthermore, the dithiothreitol (DTT) assay was carried out to determine the ability of generating reactive oxygen species (ROS) of each particle size fraction. The results showed that the smaller particle size had the higher the ROS production ability, and the contribution of PAHQ to it was about 10%, suggesting that the toxicity of nanoparticles may be stronger than that of larger particle size fractions.

研究分野：環境分析化学

キーワード：多環芳香族炭化水素 大気汚染 粒子状物質 ナノ粒子 粒径分布 活性酸素 酸化ストレス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

PM_{2.5}と各種疾患との関係が疫学研究により確認され、特にPM_{2.5}を構成する粒子の粒子径は、体内動態やその結果としての生体影響を左右する。近年ではPM_{2.5}の中でもより粒径が小さいナノ粒子(PM_{0.1})が健康に強い悪影響を及ぼすことが分かってきており、注目が集まっている。粒径50 nm以下、もしくは粒径100 nm以下の粒子をナノ粒子と呼ぶことが多く、本研究では100 nm以下の粒子をナノ粒子と定義している。ナノ粒子(PM_{0.1})は肺胞における沈着率が高く、呼吸運動により循環器系に移行し、含有する汚染物質の毒性が強く発現する可能性がある。大気中の主要な有機汚染物質であると考えられている多環芳香族炭化水素(PAH)やニトロ多環芳香族炭化水素(NPAH)のナノ粒子を含む粒径分布は調査されてきたが、毒性の点で注目を集めているPAHの酸化誘導体である多環芳香族炭化水素キノン類(PAHQ)について十分な調査はされていない。PAHQは、非意図的に生成するPM_{2.5}中の新規PAH誘導体で、活性酸素種(ROS)生成による酸化ストレスの誘導と循環器疾患やアレルギー疾患との関係が指摘されている。PAHQは酵素反応を介さず直接変異原性を示すこと、レドックスサイクルを介することで活性酸素種(ROS)を生成し酸化ストレスを引き起こすため、母核のPAHよりも毒性が強くなることが推定されている。また、PAHQの発生源として化石燃料の燃焼などの一次生成や大気中での光化学反応を介した二次生成が知られているが、PAHQの発生源について十分な解析がなされていないのが現状である。

2. 研究の目的

日本国内の2地点(東京、金沢)で夏季及び冬季に大気粉じんをナノ粒子(PM_{0.1})まで粒径別に捕集し、各粒径についてPAHQ及びPAH類、発生源マーカーを測定し、同時に粒径別に2種のin vitroアッセイによりROS産生能に関する毒性評価を行う。得られた結果からPAHQの粒径分布特性、発生源、粒径別毒性リスク、ROS産生毒性に対するPAHQの寄与、無機成分の活性に対する相加相乗作用を評価することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 国内2地点でのナノ粒子画分まで含む大気粒子の粒径別捕集は、PM_{0.1}大気サンプラーを用いて東京(九段下)及び金沢(角間町)で実施し、大気粒子を6段階(>10 µm, 10~2.5 µm, 2.5~1.0 µm, 1.0~0.5 µm, 0.5~0.1 µm, <0.1 µm)の粒径に分級して24時間捕集(40 L/min)し、捕集期間は冬季(1~2月)夏季(8月)にそれぞれ1週間実施した。PM_{0.5-1.0}画分はSUSファイバーフィルターにそれ以外の画分はテフロンバインダーフィルター(T60A20, Pall)上に捕集した。捕集した各粒子画分試料について秤量により粒子濃度を算出した。

(2) 各粒子画分試料について、ジクロロメタンによる超音波抽出を行ない、抽出液にDMSOを添加した後で減圧濃縮し、エタノールを加えPAH、NPAH分析用の試料とした。この試料溶液の一部に、水とトルエンを加え遠心分離した後、トルエン相を分取し、濃縮した後にアセトニトリルに転溶して亜鉛粒、ジチオスレイトール及びトリメチル化(TMS)誘導体化試薬を加え、80℃で30分間反応させ、TMS誘導体とした。水とヘキサンによる液-液抽出でヘキサン相を分取した後、減圧濃縮し、TSQ QUANTUM GC (Thermo)により測定した。カラムはDB-5MS(30 m×0.25 mm i.d., 0.25 µm, J&W)を使用し、EIモードによる選択反応モニタリング(SRM)法で1-5環のPAHQ 40種を測定した。4-6環の10種PAH、及び3-5環の12種NPAHは蛍光検出HPLC法により測定した。

(3) ROS産生能を評価するためのジチオスレイトール(DTT)アッセイは、0.1 Mリン酸緩衝溶液中にDTTと試料を添加したとDTTのみ添加したブランク試料を37℃に加熱しながら振盪させ、0, 20, 40, 60分後に反応液を採取して10%トリクロロ酢酸により反応を停止させた。未反応のDTTを5,5'-Dithiobis-(2-nitrobenzoic acid) (DTNB)と反応させ、生成する2-nitro-5-thiobenzoic acid (TNB)の412 nmにおける吸光度を測定し、DTT量に換算した。0, 20, 40, 60分に対するDTT濃度(µM)の直線グラフにおいて、DTTと試料の傾きの絶対値とブランクの傾きの絶対値との差をDTT消費速度(µM/min)とした。さらに、DTT消費速度を粉塵質量(µg)で除することにより質量標準化DTT消費速度(pmol/min/µg)に換算した。

4. 研究成果

(1) 大気粉塵捕集前後でフィルター、SUSファイバーの重量を秤量しそれぞれの画分におけるPM濃度を求めた。PM_{0.1}~PM_{1.0-2.5}の4画分を合計して求めたPM_{2.5}濃度について、東京夏季におけるPM_{2.5}濃度の平均は19.8 µg/m³、冬季で17.0 µg/m³、金沢夏季で15.8 µg/m³、冬季で11.2 µg/m³であった。日本国内のPM_{2.5}濃度の環境基準は年平均15 µg/m³、日平均で35 µg/m³であり、金沢冬季サンプリングを除き、年平均値の基準値以上ではあったが日平均の基準値以下という結果であった。各画分のPM濃度を比較すると、東京冬季ではPM_{0.5-1.0}画分が最も高濃度であっ

たが、それ以外では PM_{2.5-10} 画分が最も高濃度であった。ナノ粒子画分は全ての画分の中でもっとも低い濃度を示し、全画分に占める割合は 5~10%程度であった。

(2) すべての粒子画分を合計した PAHQ 総濃度は、PAH の 0.2 倍~1.0 倍、NPAH の 5.3 倍~15.2 倍であり、PAHQ は大気中の主要な有機汚染物質である PAH に匹敵する濃度で存在していることが分かった。PAHQ の組成を調べた結果、ベンゾキノン (BQ) 類を除くと、9,10-anthraquinone (9,10-AQ)、benzo[a]pyrenequinone (BaPQ) 類、benzo[a]anthracene-7,12-Q (BaA-7,12-Q) で 50% 以上を占めていた。粒径分布について解析した結果、PAHQ 総濃度に関して、サンプリング地点や季節によらず PM_{2.5} 中に 80% 以上が存在していた。ナノ粒子画分に注目すると、全画分を合わせた濃度に占める割合は 15%程度であった。分子量が 232 g/mol よりも小さい PAHQ は分子量のより大きな PAHQ と比較して揮発性が大きいため、揮発、凝集のサイクルを早く繰り返すことで PM_{2.5-10} や PM₁₀ 以上の粗大な粒子画分にも高濃度に存在していることが分かった。各 PAHQ について考察すると、自動車粉じん由来と考えられている 9,10-phenanthrenquinone (9,10-PQ) や 2-methyl-9,10-anthraquinone は蒸気圧に左右されない冬季でナノ粒子画分と PM_{0.5-1.0} 画分にピークを持つ二峰性の粒径分布を示し、ガス相中で二次生成されると推定される BaA-7,12-Q は、二次生成が亢進すると考えられる夏季においてナノ粒子画分と PM_{1.0-2.5} 画分にピークを持つ二峰性の粒径分布を示した。一方、自動車に由来する NPAH の 1 つである 1-nitropyrene や大気中でガス相から二次生成される 2-nitrofluoranthene は PM_{0.1} と PM_{0.1-0.5} 画分にピークを持つ単峰性の粒径分布を示した。この PAHQ と NPAH の粒径分布の違いは PAHQ の安定性が高いことに起因すると考えられた。PAHQ は他地域からの輸送中にも分解されにくく、二峰性の粒径分布を示すと推定された。

(3) 捕集した大気粒子の発生源を推定した結果、サンプリング地点、季節によらず自動車排気と二次生成の影響を受けていることが分かった。特に東京・夏季では長距離輸送の影響もあり、PAHQ の粒径分布が粗大側にシフトしていること、PAHQ や NPAH の二次生成が亢進していることが分かった。また、ガス状物質や NPAH との相関や母核 PAH との比を用いて PAHQ の発生源を考察した結果、都市環境において、PAHQ の発生源に大気中での二次生成の寄与が大きい可能性が考えられた。特に BaA-7,12-Q や BaPQ 類は二次生成の寄与が大きく、大気中での PAHQ の二次生成の指標として有用であることが明らかになった。

(4) 捕集した PM 試料の粒径別質量標準化 DTT 消費速度を測定したところ、いずれの場所と季節において、粒径が小さい程 ROS 産生能が高い傾向があった。また、PM_{2.5} で総 ROS 産生能の 70% 以上、PM_{0.5} で 50% 近くを占めており、PM の微小粒子画分では DTT の消費効率が大きく、強い酸化ストレスを招くと考えられる。これは、粒径が小さい程、粒子の周囲に付着している有機物の総量が多くなり、より DTT を消費するためだと考えられる。また、夏季と比較して冬季の方が、粒径 0.1 μm 以下のナノ粒子による DTT 消費が非常に大きかった。このことから冬季は、より自動車排気の影響を強く受けていると考えられた。

(5) DTT アッセイにより算出した質量標準化 DTT 消費速度 (pmol/min/μg) について、PAHQ 標準物質の DTT 消費速度式に試料中の 40 種 PAHQ 濃度を代入して算出した DTT 消費速度の合計値と比較することにより、PAHQ 類 40 種の寄与率を算出した。その際、異なる PAHQ 類同士の DTT 消費速度は相加的であるとした。その結果、PAHQ 類の寄与率は PM 抽出物の総消費速度に対して 7.7~11.1% であった。2 季節を比較すると、夏季の方が冬季に比べて寄与率は高くなっていた。PAHQ の中では、画分によらず BQ 類、9,10-PQ、4,5-pyrenequinone、BaP-6,12-Q、1,2-naphthoquinone の 4 種の活性寄与が大きく 74~90% を占めていた。本研究では、PAHQ 類の標準化 DTT 消費速度として PAHQ 類 40 種の定量値を各々の DTT 消費速度式に代入した合計値で計算したが、PAHQ 類同士の相乗性や、PAHQ 類以外の ROS 産生する物質との相乗性により PAHQ 類の寄与率が大きくなることも考えられる。本研究は PAHQ のナノ粒子を含む粒径分布に注目した初めての研究であり、得られた成果は今後の PAHQ の大気内動態や発生源の解明に貢献することが期待される。

< 引用文献 >

Furuuchi, M., Eryu, K., Nagura, M., Hata, M., Kato, T., Tajima, N., Sekiguchi, K., Ehara, K., Seto, T. and Otani, Y., Development and Performance Evaluation of Air Sampler with Inertial Filter for Nanoparticle Sampling. *Aerosol. Air Qual. Res.*, **10**, 2010, 185-192

Toriba, A., Homma, C., Kita, M., Uozaki, W., Boongla, Y., Orakij, W., Tang, N., Kameda, T., Hayakawa, K., Simultaneous determination of polycyclic aromatic hydrocarbon quinones by gas chromatography-tandem mass spectrometry, following a one-pot reductive trimethylsilyl derivatization. *J. Chromatogr. A*, **1459**, 2016, 89-100

Boongla, Y., Orakij, W., Nagaoka, Y., Tang, N., Hayakawa, K., Toriba, A., Simultaneous determination of polycyclic aromatic hydrocarbons and their nitro-derivatives in airborne particulates by using two-dimensional high-performance liquid chromatography with on-line reduction and fluorescence detection. *Asian J. Atmos. Environ.*, **11**, 2017, 283-299

Charrier, J.G., Anastasio, C., On dithiothreitol (DTT) as a measure of oxidative potential for ambient particles: evidence for the importance of soluble transition metals. *Atmos. Chem. Phys.*, **12**(5), 2012, 11317-11350

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ochirpurev Bolormaa, Eom Sang-Yong, Toriba Akira, Kim Yong-Dae, Kim Heon	4. 巻 -
2. 論文標題 Urinary 1-aminopyrene level in Koreans as a biomarker for the amount of exposure to atmospheric 1-nitropyrene	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Toxicological Research	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） 10.1007/s43188-021-00096-z	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 Toriba Akira, Hayakawa Kazuichi	4. 巻 35
2. 論文標題 What is necessary for next generation atmospheric environmental standards? Recent research trends for PM2.5 bound polycyclic aromatic hydrocarbons and their derivatives	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biomedical Chromatography	6. 最初と最後の頁 e5038
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/bmc.5038	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 Hayakawa Kazuichi, Tang Ning, Toriba Akira, Nagato Edward G.	4. 巻 265
2. 論文標題 Calculating sources of combustion-derived particulates using 1-nitropyrene and pyrene as markers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Environmental Pollution	6. 最初と最後の頁 114730 ~ 114730
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.envpol.2020.114730	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 Toriba Akira, Kasahara Chieko, Bekki Kanae, Samizo Masayuki, Tang Ning, Hayakawa Kazuichi	4. 巻 68
2. 論文標題 Quantification of Hydroxylated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Airborne Particulate Matter by GC/MS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 BUNSEKI KAGAKU	6. 最初と最後の頁 839 ~ 845
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2116/bunsekikagaku.68.839	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 Pham Chau-Thuy, Boongla Yaowatat, Nghiem Trung-Dung, Le Huu-Tuyen, Tang Ning, Toriba Akira, Hayakawa Kazuichi	4. 巻 16
2. 論文標題 Emission Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Nitro-Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Open Burning of Rice Straw in the North of Vietnam	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health	6. 最初と最後の頁 2343 ~ 2343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph16132343	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 He Miao, Ichinose Takamichi, Ito Tomohiro, Toriba Akira, Yoshida Seiichi, Kaori Sadakane, Nishikawa Masataka, Sun Guifan, Shibamoto Takayuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Investigation of Inflammation Inducing Substances in PM2.5 Particles by an Elimination Method Using Thermal Decomposition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Environmental Toxicology	6. 最初と最後の頁 1137 ~ 1148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tox.22816	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 Hayakawa Kazuichi, Tang Ning, Nagato Edward G., Toriba Akira, Aoki Kazuma	4. 巻 19
2. 論文標題 Identification of Long-Range Transported Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Snow at Mt. Tateyama, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Aerosol and Air Quality Research	6. 最初と最後の頁 1252 ~ 1258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4209/aaqr.2018.05.0153	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 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 鳥羽 陽, 森井彩香, 本間千春, 唐寧, 早川和一
2. 発表標題 大気粒子抽出物の酸化能測定の最適化と粒径別実大気試料の評価
3. 学会等名 日本薬学会141年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 楊 露, 張 露露, 張 昊, 周 全渝, 張 旋, 刑 万里, 鳥羽 陽, 早川和一, 柏倉桐子, 吳 慶, 周 志俊, 陳 仁杰, Heon Kim, Vassily Mishukov, Andrey Neroda, 唐 寧
2. 発表標題 アジアの都市域における大気中多環芳香族炭化水素の特徴及び健康リスク評価
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 鳥羽 陽, Walaiporn Orakij, Thaneeya Chetiyakornkul, 唐 寧, 早川和一
2. 発表標題 タイ農村の屋内バイオマス燃焼に由来する多環芳香族炭化水素類の特性解析
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 川井 萌, 寺村優希, 本間千春, 山崎 陸, 唐 寧, 早川和一, 鈴木 亮, 鳥羽 陽
2. 発表標題 大気粒子及び燃焼発生源粒子の酸化能に対する多環芳香族炭化水素キノンの寄与評価
3. 学会等名 日本薬学会140年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鳥羽 陽, 氣谷広登, 佐々木智啓
2. 発表標題 個人サンプラーによる大気中ガス状多環芳香族炭化水素類の捕集方法の開発
3. 学会等名 2019年室内環境学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鳥羽 陽、寺村優希、森井彩香、川井 萌、深川真夢、本間千春、唐寧、 早川和一
2. 発表標題 大気粒子による活性酸素種産生に対する多環芳香族炭化水素キノン類の寄与評価
3. 学会等名 第60回大気環境学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鳥羽 陽、長岡 祐樹、深川 真夢、Thaneeya Chetiyakornkul、唐 寧、早川 和一
2. 発表標題 タイのタクシー車内におけるPM2.5曝露と粒子中の多環芳香族炭化水素類の特徴
3. 学会等名 フォーラム2019：衛生薬学・環境トキシコロジー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鳥羽 陽、長岡 祐樹、深川 真夢、Thaneeya Chetiyakornkul、唐 寧、早川 和一
2. 発表標題 タイにおいて捕集された自動車排ガス由来のPM2.5に含まれる多環芳香族炭化水素類の分析
3. 学会等名 第28回環境化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鳥羽陽、深川 真夢、長岡 祐樹、本間千春、唐寧、早川和一
2. 発表標題 大気中の粒子状物質に含まれる多環芳香族炭化水素及びその誘導体の粒径分布評価
3. 学会等名 日本薬学会139年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 尾田知之, 唐 寧, 早川和一, 鈴木亮, 鳥羽陽
2. 発表標題 分散固相抽出法を用いた蛍光検出-HPLC によるニトロ多環芳香族炭化水素類の簡易一斉分析法の開発
3. 学会等名 日本薬学会北陸支部第130回例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鳥羽陽, 深川正夢, 本間千春, 唐寧, 早川和一
2. 発表標題 都市大気環境における粒子状多環芳香族炭化水素キノン類の粒径分布解析
3. 学会等名 第59回大気環境学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toriba, A.
2. 発表標題 Development of a urinary biomarker to evaluate exposure to metabolites of 9, 10-phenanthrenequinone associated with producing reactive oxygen species
3. 学会等名 The 8th International Forum on Green Technology and Management (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鳥羽 陽, 森井 彩香, 本間 千春, 唐 寧, 早川 和一
2. 発表標題 大気粒子の粒径別酸化能測定と多環芳香族炭化水素キノン類の寄与
3. 学会等名 フォーラム2018: 衛生薬学・環境トキシコロジー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 早川 和一, 長門Edward 豪, 唐 寧, 鳥羽 陽
2. 発表標題 世界の大气汚染を多環芳香族炭化水素類から比較する
3. 学会等名 フォーラム2018: 衛生薬学・環境トキシコロジー
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔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	古内 正美 (Furuuchi Masami) (70165463)	金沢大学・地球社会基盤学系・教授 (13301)	
研究 分担者	唐 寧 (Tang Ning) (90372490)	金沢大学・環日本海域環境研究センター・教授 (13301)	

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			
タイ	チェンマイ大学	タマサート大学	メジャー大学	
ベトナム	ベトナム国家農業大学	ハノイ工科大学		