

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：23803

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22350070

研究課題名（和文） ハロゲン系有機化合物の高感度分析と曝露評価、生成メカニズムに関する研究

研究課題名（英文） Highly sensitive analysis, exposure assessment and emission mechanisms of halogenated organic compounds.

研究代表者

雨谷 敬史（AMAGAI TAKASHI）

静岡県立大学・環境科学研究所・准教授

研究者番号：10244534

研究成果の概要（和文）：

本研究は、ハロゲン化多環芳香族炭化水素を含むハロゲン化有機化合物を高感度に分析するための、負化学イオン化ガスクロマトグラフ/質量分析計と、加熱脱着法を組み合わせたシステムを開発し、これを個人曝露評価に応用しうるものとする。ハロゲン化多環芳香族炭化水素の生成メカニズムを解明するために、電気炉中で含ハロゲンプラスチックを燃焼させ、その生成物の解析を行い、環化前後の塩素化のタイミングについて考察した。

研究成果の概要（英文）：

We have developed highly sensitive analytical methods for halogenated organic compounds including halogenated polycyclic aromatic hydrocarbons (XPAHs). The method includes thermal desorption technique and a negative chemical ionization GC/MS method. The exposure assessment method for these compounds has been also developed. To study emission mechanisms of these compounds, halogenated plastics were combusted in electric furnace, and the products were analyzed. Cyclization was occurred before chlorination in some of these compounds, and it was occurred after chlorination in another compounds.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2011年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2012年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・環境関連化学

キーワード：微量環境物質評価

1. 研究開始当初の背景

ハロゲン化有機化合物は、ハロゲン化により残留性が増す（分解性が下がる）ケースが多いことなどのために、環境中での挙動や蓄積実態を検討する必要があると考えられる。このうちダイオキシンの挙動は、研究も進んでいるが、例えばハロゲン化多環芳香族炭化

水素に関する研究例は少ない。

本研究の代表者らは、これまでの研究で、ハロゲン化多環芳香族炭化水素などのハロゲン化有機化合物には、負化学イオン化ガスクロマトグラフ/質量検出器（NCI-GC/MS）で高感度に、選択的に測定可能な物質が多く含まれることを明らかにしてきた。しかし、

個人曝露評価は、得られるサンプル量が少ないため、より高感度化など、さらに工夫が必要となる。そこで、加熱脱着法を組み合わせた分析法を開発し、個人曝露評価に応用することを考えた。理論的には、これにより従来比で 100 倍程度高感度化が可能と考えられた。このような化合物の曝露評価を行うためには、極めて高感度な分析手法が必要不可欠である。これは、曝露評価のための個人曝露試料が極めて少量しか捕集できないためである。また、燃焼炉で塩素系のプラスチックを燃焼させ、その生成物を解析することにより、廃棄物焼却炉におけるハロゲン化有機物の生成メカニズムの解明につながると考えられた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ハロゲン化多環芳香族炭化水素（ハロゲン化 PAH）とハロゲン系残留性有機化合物を同時に高感度に分析しうる手法、すなわち加熱脱着法と負化学イオン化 GC/MS を用いた手法を開発すること、対象化合物のリスク評価の一環として個人曝露評価手法を開発すること、燃焼炉で異なる種類の塩素系プラスチックを燃焼させ、対象化合物の生成メカニズムを追求することである。

3. 研究の方法

ガス状のハロゲン化合物は、ポリウレタンフォームと XAD-2 樹脂で捕集し、粒子状物質は、ガラスファイバーフィルター上に捕集した。ガス状化合物は、ソックスレー抽出を行い、抽出液を濃縮して GC/MS で分析した。粒子状化合物は、捕集したフィルターの一部を切り抜き、加熱脱着用チューブに入れて、加熱脱着 GC/MS 法で分析した。また、粒子状物質の一部はソックスレー抽出を行い、GC/MS で分析して結果を比較した。加熱脱着装置は、本研究助成金で購入した TurboMatrix 650ATD (Perkin Elmer 社) を、脱着ガスはヘリウムを用いた。脱着条件検討用に用いた捕集チューブは、前段に Tenax TA (Enka Research Institute) 80mg、後段に Carboxen 1000 (Sigma-Aldrich) 40mg を充填したカスタムチューブとした。コールドトラップは Air Monitoring 用で、捕集チューブから脱離した目的成分を一旦トラップするために使用した。コールドトラップ温度は 5°C とした。目的化合物の脱着条件としては、チューブからの脱着流量と脱着温度、トラップからの脱着流量について検討した。

接続した GC/MS は、GC6890/MSD5975C (Agilent) を用いた。カラムは DB-5 (長さ 60 m, 内径 0.32 μm , 膜厚 0.25 μm ; J&W)、質量検出器のイオン化法はメタンをイオン

化ガスとして用いる NCI 法を使用した。また、検出には、選択イオンモードを用いた。条件の最適化は、5,7-ジクロロフルオランテン

(5,7-Cl₂Flu) ($m/z=270$ を定量イオンとして使用) を 1 回 50pg 注入して、そのピーク面積を用いて行った。

空気中の粒子状物質に含まれるハロゲン化有機化合物の捕集は、ハイボリュームエアサンプラーを用い、約 1m³/分の流量で 24 時間行った。この一部を切り取り、加熱脱着用空チューブに入れて分析した。

次に、電気炉を用いて、廃棄物焼却施設を模擬した燃焼実験を行った。燃焼試料は、細かく裁断したポリ塩化ビニル (PVC) 及びポリ塩化ビニリデン (PVDC) を用いた。また、本研究での燃焼条件は、炉内温度を 500°C または 800°C、ガス滞留時間を 2 秒、ガス雰囲気窒素 80%、酸素 20%、試料負荷量を 10 kg \cdot h⁻¹ \cdot m⁻³ とした。生成物のうち、粒子状成分は、テフロンフィルターで、ガス状成分は PUF と XAD-2 を捕集剤とする捕集チューブで捕集した。分析対象成分はジクロロメタンを溶媒とするソックスレー抽出法で抽出し、抽出液を濃縮後、シリカゲルカラムクロマトグラフによりクリーンアップして、抽出液をさらに濃縮してから GC/MS で分離分析した。

4. 研究成果

加熱脱着法を用いた分析条件の最適化を行った。まず、チューブからの脱着時間の検討、脱着流量の検討、出口スプリット比の検討を行った。図 1 にチューブからの脱着時間の検討結果を示す。脱着時間があまり長くなるとヘリウムの消費量が多くなることから、30 分を最適時間とした。

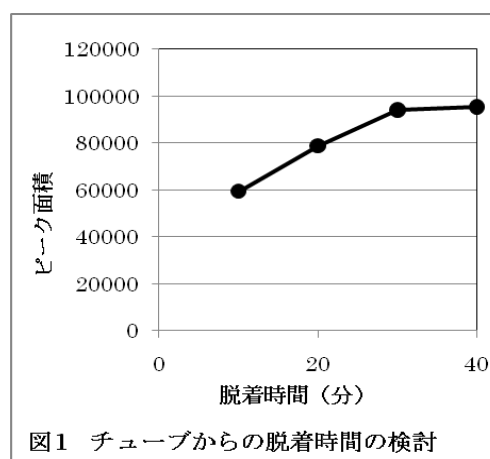


図1 チューブからの脱着時間の検討

次に、チューブ脱着流量の検討結果を図 2 に示す。流量が多くなると脱着ロスが生じることが危惧されたが、15 mL \cdot min⁻¹ 程度の流量ではロスは無かった。逆に少ない流量では十分に脱着されないものと考えられた。これ

らのことから、チューブからの脱着流量は $10 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ とした。

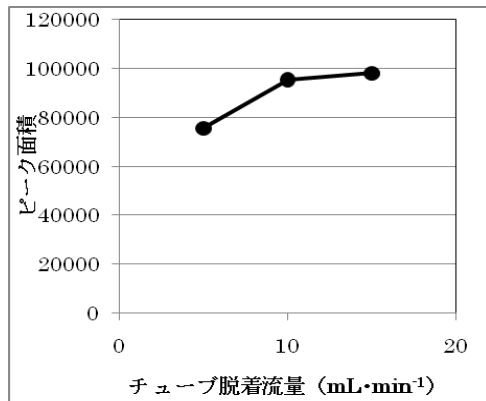


図2 チューブ脱着流量の検討

対象化合物は、チューブから脱離した後、コールドトラップに一旦濃縮され、このトラップを加熱することにより再脱離してGCカラムに導入される。トラップからの脱着流量は、カラムへの導入流量と出口スプリット流量の和となり、このとき、カラム流量のトラップ脱着流量に対する割合が出口スプリット比と呼ばれる。カラム流量はほぼ一定 ($1 \sim 1.5 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) であるので、出口スプリット比は出口スプリット流量で調節するが、この調節によりコールドトラップ脱着流量も変化する。本研究では、出口スプリット比を20%から100%に変化させたときに、PAH-Xのピーク面積がどのように変化するかを検討したが、図3に示すように、スプリット比を増やす(コールドトラップからの脱着流量を減らす)に従って、得られる面積が大きくなり、スプリット比100%(コールドトラップ脱着流量 $1.5 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 出口スプリットは閉じる)の時に感度が最高となる結果となった。

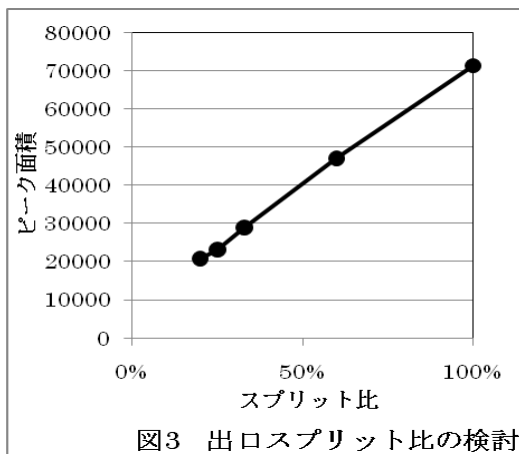


図3 出口スプリット比の検討

加熱脱着法による測定値の信頼性の検討の一環として、標準的なソックスレー抽出法を用いた結果との比較を行った。試料は、1993年1月10日、1月15日、1月19日に捕集した3試料を用い、その一部を加熱脱着

法で分析すると共に、試料の一部をソックスレー抽出し、濃縮後GC/MSで分析した。定量にはフルオランテン-d₁₀、BaP-d₁₂を内部標準として用い、加熱脱着法ではフィルターに内部標準物質を添加してから分析、ソックスレー抽出法で抽出した試料には、最後に内部標準を添加してから分析した。

結果の一部を表1に示す。

表1 ソックスレー抽出法と加熱脱着法の6-Cl-BaP濃度測定結果の比較

	ソックスレー抽出法 (pg/m^3)	本法 (pg/m^3)
1993/1/10	180	170
1993/1/15	310	310
1993/1/19	55	50

この結果から、本法が標準的なソックスレー抽出法とほぼ同等の結果を与えることが確認された。また、本法による6-ClBaP検出下限値は 0.55 pg で、流量毎分3Lのサンプラーを用い、24時間捕集したときの検出下限値は $0.13 \text{ pg}/\text{m}^3$ となる。これは、現在の6-クロロベンゾ[a]ピレンの空气中濃度約 $10 \text{ pg}/\text{m}^3$ を考えると、十分実用性を持った感度であり、本法を個人曝露評価に使用可能であることが判った。

電気炉を用いて、廃棄物焼却施設を模擬した燃焼実験を行った。燃焼試料は、細かく裁断したポリ塩化ビニル(PVC)及びポリ塩化ビニリデン(PVDC)を用いた。また、本研究での燃焼条件は、炉内温度を 500°C または 800°C 、ガス滞留時間を2秒、ガス雰囲気を窒素80%、酸素20%、試料負荷量を $10 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ とした。

実験結果のうち、 800°C でPVCを燃焼させたときの生成物を図4に、 800°C でPVDCを燃焼させたときの生成物を図5に示す。まず、PVCを燃焼した場合、炉内温度 500°C では検

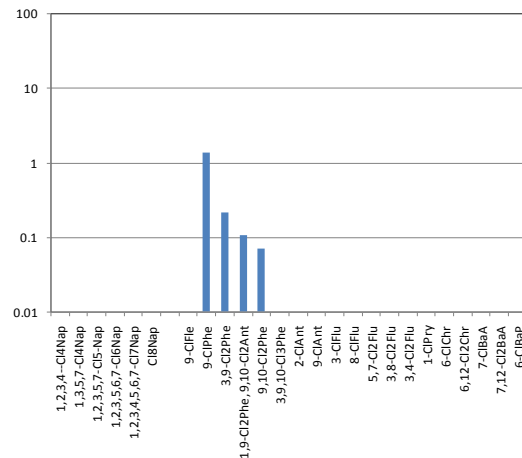


図4 PVCを 800°C で燃焼させたときの生成物量 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)

出されたクロロナフタレン類 (0.071~0.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) が、800°Cでは検出限界値以下 (< 0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) になったが、モノ・ジクロロフェナントレンについては大きな濃度変化は観測されなかった (0.071~1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)。一方、PVDCを燃焼した場合、クロロナフタレン類が 500°Cでは 0.38~46 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ 、800°Cでは 0.19~30 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ となり、PVCの燃焼時 (500°C) と比較して 2.7~650 倍高濃度となっていた。しかし、その母核となるナフタレン濃度は、PVCの燃焼時 (500°C) と比較して、PVDC燃焼時は 0.10 倍 (500°C)、0.13 倍 (800°C) と濃度が減少しており、クロロナフタレン類とは逆の挙動を示した。

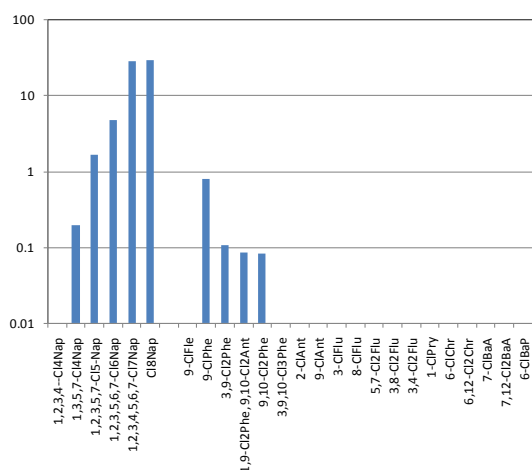


図 5 PVDC を 800°Cで燃焼させたときの生成物量 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$)

PVCは、炭素骨格のうち、炭素 2 個に対し塩素 1 個ついており、環化時に塩素は塩化水素となり脱離すると考えられる。それに対して、PVDCは炭素 2 個に対し塩素が 2 個付いており、塩化水素が脱離してもまだ塩素が 1 個残っている。

そこで、PVDCの場合は、ナフタレンが生成した後に塩素化する経路が主ではなく、PVDCが燃焼する際の縮合等によって特異的にクロロナフタレン類を生成することを示唆しており、PVCとPVDCモノマーの構造の違い、塩素数の違い等が影響していることが考えられる。なお、PVDCでは、500°Cにおいて、低塩素化体のクロロナフタレン類が高濃度で検出される傾向であったが、800°Cでは、高塩素化体が高濃度となっており、800°Cの方が高塩素化しやすい状況であったことを示していた。

また、他の条件と比べてPVDCを500°Cで燃焼した場合のみ、モノ・ジクロロフェナントレンが 4.3~410 倍高濃度となったが、母核となるフェナントレン濃度は大きな変化はなかった。

以上のように、ナフタレン、フェナントレ

ン、ピレンのハロゲン化合物の発生が認められ、環化時にすでに骨格に塩素がついていたものと、環化後に塩素が置換したと思われる化合物が認められたが、前者の寄与が大きいと考えられた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

1. Taketoshi Kido, Hiroyuki Sakakibara, Takeshi Ohura, Keerthi S. Guruge, Mitsuhiro Kojima, Jun Hasegawa, Takeru Iwamura, Noriko Yamanaka, Shuichi Masuda, Masato Sakaguchi, Takashi Amagai and Kayoko Shimoi: Evaluation of Chlorinated Benz[a]anthracene on Hepatic Toxicity in Rats and Mutagenic Activity in Salmonella typhimurium. Environmental Toxicology, 28(1), 21-30 (2013).
2. 雨谷敬史, 王寧, 倉林健太郎, 三宅祐一, 久米一成: PM2.5 室内濃度・個人曝露濃度の重量法による測定法に関する研究。室内環境, 15(1), 1-6 (2012).
3. Mabuchi Ryota, Aya Kurita, Noriyuki Miyoshi, Akira Yokoyama, Takumi Furuta, Toshinao Goda, Yoshihide Suwa, Toshiyuki Kan, Takashi Amagai and Hiroshi Ohshima: Analysis of Ne-ethyllysine in human plasma proteins by gas chromatography-negative ion chemical ionization/mass spectrometry as a biomarker for exposure to acetaldehyde and alcohol. Alcoholism: Clinical and Experimental Research, 36(6) 496-508 (2012).
4. Shohei Yamashita, Kazunari Kume, Toshiyuki Horiike, Nobuyuki Honma, Masahiro Fusaya, Takeshi Ohura and Takashi Amagai: Emission sources and their contribution to indoor air pollution by carbonyl compounds in a school and a residential building in Shizuoka, Japan. Indoor and Built Environment, 21(3), 392-402 (2012).
5. Yuichi Miyake, Liang Tang, Yuichi Horii, Kiyoshi Nojiri, Nobutoshi Ohtsuka, Yoshinori Fujimine, Takashi Amagai: Concentration profiles of halogenated polycyclic aromatic hydrocarbons in flue gas, bottom ash, and fly ash from waste incinerator. 74, 636-639 (2012).
6. Takashi Amagai: Measurement of anthropogenic VOCs and their impact on Environment. Environment and National Resources Journal, 9(1) 1-5 (2011).
7. Yuichi Miyake, Liang Tang, Takeshi Kobayashi, Takashi Kameya, Managaki S, Shigeki Masunaga, Yoshinori Fujimine, Yuichi Horii, Takashi Amagai: A Preliminary study for

combustion of hexabromocyclododecane (HBCD) and its by-products, *Organohalogen Compounds*, 73, 412-415 (2011).

8. Hao Lu, Takashi Amagai and Takeshi Ohura: Comparison of polycyclic aromatic hydrocarbon pollution in Chinese and Japanese residential air. *Journal of Environmental Sciences*, 23, (9) 1512-1517 (2011).
9. Shohei Yamashita, Kazunari Kume, Toshiyuki Horiike, Nobuyuki Honma, Masahiro Fusaya, Takeshi Ohura and Takashi Amagai: A simple method for screening emission sources of carbonyl compounds in indoor air. *Journal of Hazardous Materials*, 178 (1-3), 370-376, (2010).
10. Takeshi Ohura, Maki morita, Kuruto-Niwa Ryoko, Takashi Amagai, Hiroyuki Sakakibara and Kayoko Shimoi: Differential action of chlorinated polycyclic aromatic hydrocarbons on aryl hydrocarbon receptor-mediated signaling in breast cancer cells, *Environmental Toxicology*, 25 (2) 180-187 (2010).

[学会発表] (計 27 件)

1. 雨谷敬史: 室内の汚染物質実態調査, 日本環境変異原学会第 41 回大会 (静岡), 2012 年 11 月.
2. 三宅祐一, 唐亮, 王齊, 雨谷敬史, 堀井勇一, 野尻喜好, 大塚宜寿: 廃棄物焼却ガス・飛灰・焼却灰中の塩素化多環芳香族炭化水素類の媒体間挙動, 環境科学会 2012 年会 (横浜), p.6, 2012 年 9 月.
3. 朝日宏行, 雨谷敬史, 三宅祐一: サーマルデソープションを用いたハロゲン化・ニトロ化多環芳香族炭化水素高感度・選択的分析, 環境科学会 2012 年会 (横浜), p.3, 2012 年 9 月.
4. 王齊, 三宅祐一, 唐亮, 堀井勇一, 野尻喜好, 大塚宜寿, 雨谷敬史: 廃棄物焼却炉からのハロゲン化多環芳香族炭化水素類の排出情報に基づく周辺住民への曝露濃度推定, 環境科学会 2012 年会 (横浜), p.7, 2012 年 9 月.
5. 三宅祐一, 唐亮, 堀井勇一, 野尻喜好, 大塚宜寿, 雨谷敬史: 廃棄物焼却施設からのハロゲン化多環芳香族炭化水素類の排出傾向, 第 21 回環境化学討論会 (愛媛), p.627-628, 2012 年 8 月.
6. Miyake Y, Tang L, Horii Y, Nojiri K, Ohtsuka N, Fujimine Y and Amagai T: Concentration profiles of halogenated polycyclic aromatic hydrocarbons in flue gas, bottom ash, and fly ash from waste incinerator, 32nd International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and Persistent Organic Pollutants (POPs),

Cairns, Aug. 26-31, 2012.

7. 王齊, 三宅祐一, 唐亮, 雨谷敬史: 廃棄物焼却炉から排出されるハロゲン化多環芳香族炭化水素類の曝露濃度推定, 富士山麓アカデミック&サイエンスフェア 2012 (ふじさんめっせ), p.107, 2012 年 12 月.
8. 朝日宏行, 三宅祐一, 雨谷敬史: サーマルデソープションを用いたハロゲン化多環芳香族炭化水素の高感度・選択的分析, 富士山麓アカデミック&サイエンスフェア 2012 (ふじさんめっせ), p.108, 2012 年 12 月.
9. Miyake Y, Tang L, Fujimine Y, Horii Y, Amagai T: Chlorinated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from the Combustion of Polyvinyl Chloride and Polyvinylidene Chloride. *Proceedings of the SETAC North America 32nd Annual Meeting*, p. 262, Boston, November 13-17, 2011.
10. 王寧, 三宅祐一, 久米一成, 雨谷敬史: PM2.5 個人曝露量に対する環境中たばこ煙の影響, 第 20 回環境化学討論会 (熊本), p. 158-159, 2011 年 7 月.
11. 唐亮, 三宅祐一, 山崎映明, 鍵紀子, 雨谷敬史: GC-NCI/MS/MS による大気中ニトロ PAHs の分析, 第 20 回環境化学討論会 (熊本), p. 230-231, 2011 年 7 月.
12. 雨谷敬史, 三宅祐一: TD-GC(NCI)/MS によるハロゲン化多環芳香族炭化水素の分析, 第 52 回大気環境学会年会 (長崎), p. 214, 2011 年 9 月.
13. 嵐谷奎一, 石上温, 世良暢之, 雨谷敬史, 秋山幸雄, 檜崎幸範: 2010 年春季の太宰府市での多環芳香族炭化水素類濃度の特徴, 第 52 回大気環境学会年会 (長崎), p. 227, 2011 年 9 月.
14. 三宅祐一, 唐亮, 小林剛, 亀屋隆志, 真名垣聡, 益永茂樹, 藤峰慶徳, 堀井勇一, 雨谷敬史: 臭素系難燃剤 HBCD の焼却による臭素化多環芳香族炭化水素類の生成調査, 第 52 回大気環境学会年会 (長崎), p. 525, 2011 年 9 月.
15. 唐亮, 三宅祐一, 雨谷敬史: 塩素系樹脂の焼却による塩素化多環芳香族炭化水素類の生成調査, 第 52 回大気環境学会年会 (長崎), p. 526, 2011 年 9 月.
16. 大浦 健, 小島光博, 雨谷敬史, 堀井勇一: 都市大気における塩素化多環芳香族炭化水素類の日内変動, 第 20 回環境化学討論会 (熊本), p. 711-712, 2011 年 7 月.
17. 三宅祐一, 唐亮, 雨谷敬史: 静岡県における大気中ニトロ化多環芳香族炭化水素類の汚染調査, 第 20 回環境化学討論会 (熊本), p. 713-714, 2011 年 7 月.
18. 山崎映明, 鍵紀子, 三宅祐一, 雨谷敬史:

- GC-EI/MS/MSによる大気中ニトロPAHsの分析, 第20回環境化学討論会(熊本), p. 727-728, 2011年7月.
19. Miyake Y, Tang L, Kobayashi T, Kameya T, Managaki S, Masunaga S, Fujimine Y, Horii Y, Amagai T: A Preliminary study for combustion of hexabromocyclododecane (HBCD) and its by-products, 31st International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and Persistent Organic Pollutants (POPs), p. 412-415, Brussels, August 21-25, 2011.
 20. 三宅祐一, 唐亮, 堀井勇一, 雨谷敬史: 塩素系樹脂の焼却による多環芳香族炭化水素類とその塩素化誘導体の生成特性, 第22回廃棄物資源循環学会研究発表会(東京), p. 525-526, 2011年11月.
 21. Miyake Y, Tang L, Fujimine Y, Horii Y, Amagai T: Chlorinated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from the Combustion of Polyvinyl Chloride and Polyvinylidene Chloride, The SETAC North America 32nd Annual Meeting, p. 262, Boston, November 13-17, 2011.
 22. 唐亮, 三宅祐一, 雨谷敬史: 塩素系樹脂の燃焼による多環芳香族炭化水素類とその塩素化誘導体の生成調査, 平成23年度室内環境学会学術大会(静岡), p. 132-133, 2011年12月.
 23. Takashi AMAGAI, Takeshi OHURA and Yuichi MIYAKE: Personal Exposure to gaseous polycyclic aromatic hydrocarbons in Shizuoka, Japan. The 2nd Korea-Japan Symposium on Environmental Chemistry, p 245, Seoul, Nov. 3-5, 2010.
 24. Liang TANG, Yuichi MIYAKE and Takashi AMAGAI: An analytical method for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their derivatives in atmosphere using GC-NCI/MS/MS. The 2nd Korea-Japan Symposium on Environmental Chemistry, p 251, Seoul, Nov. 3-5, 2010.
 25. Takashi AMAGAI: Analytical methods for Personal Exposure to PM2.5, Particulate Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Solanesol. Joint Conference of International Society for Exposure Sciences and International Society for Environmental Epidemiology. Abstract CD, Incheon, Aug. 28 - Sep. 1, 2010.
 26. 貴戸武利, Keerthi S. Guruge, 榊原啓之, 大浦健, 小島光博, 山中典子, 谷村信彦, 山田雅巳, 能美健彦, 雨谷敬史, 下位香代子: シトクロム P450 1A2 が誘発する 7-クロロベンゾ[a]アントラセンの変異原性. 第19回環境化学討論会(名古屋), 講演要旨集 p 50-51, 2010年6月
 27. 小島光博, 大浦健, 榊原啓之, 貴戸武利, Keerthi S. Guruge, 雨谷敬史: ラットにおける 7-クロロベンゾ[a]アントラセンの生体蓄積性の評価. 第19回環境化学討論会(名古屋), 講演要旨集 p 652-653, 2010年6月
- [図書] (計3件)
1. 雨谷敬史: 5. 対象別試料分析法 c. シックハウス, pp. 492-494, In: 改訂六版 分析化学便覧, 丸善出版(2011).
 2. 雨谷敬史: 2章・大気試料のサンプリング, 2.2 アルデヒド類, pp. 23-25, 3章・大気試料の分析, 有機物質の分析, 3.1.2 アルデヒド類の分析, pp. 64-71, In: 現場で役立つ 大気分析の基礎, 平井昭司監修, 社団法人日本分析化学会編, オーム社(2011).
 3. 雨谷敬史: 第1章 安全・快適のエコロジー, 1.2 最も身近な環境 (I): 室内環境に快適さや安全性を求めて, pp. 11-18, 第3章 環境の評価・保全・修復・浄化技術, 3.1 環境リスクの評価と管理, pp. 69-78, In: ヒューマンエコロジーをつくる・人と環境の未来を考える, 野上啓一郎編, 共立出版(2011).
- [その他]
ホームページ等
<http://atmos.u-shizuoka-ken.ac.jp/lab/1ab-01.htm>
6. 研究組織
 - (1) 研究代表者
雨谷 敬史 (AMAGAI TAKASHI)
静岡県立大学 環境科学研究所 准教授
研究者番号: 10244534
 - (3) 連携研究者
三宅祐一 (MIYAKE YUICHI)
静岡県立大学 環境科学研究所 助教
研究者番号: 40425731