

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26410160

研究課題名(和文)PM2.5大気粉塵のリアルタイムモニタリングによる発生源の解明

研究課題名(英文)Source identification from real-time monitoring of PM2.5 airborne particulates

研究代表者

古田 直紀(Furuta, Naoki)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：90101055

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：数日間から1週間の間、5分間刻みに大気粉塵のリアルタイムモニタリングを実施した。リアルタイムモニタリングデータをフィルター捕集データで割ることにより、元素の回収率を求めた。気化し易い元素(As, Se, Sb等)の回収率は100%以上であり、気化しにくい元素(Sr, Zr, Th等)の回収率は100%以下であった。気化し易い元素は、小さな粒子に吸着しており、その一部はフィルター(孔径0.025 μm)に捕集されていなかった為、回収率が100%以上となったと考えられる。一方、大きな粒子は、プラズマ中で完全に分解されなかった為、回収率が100%以下となったと考えられる。

研究成果の概要(英文)：From a few days to one week, real time monitoring of APs was carried out with an interval of 5 min. Recovery of elements was calculated by dividing the real-time monitoring data by the filter-collection data. The recovery of easily vaporized elements (As, Se, Sb etc.) was larger than 100%, and that of hardly vaporized elements (Sr, Zr, Th etc.) was less than 100%. It is likely that smaller particles, on which easily vaporized elements were enriched, were not collected on filters. Whereas, larger particles could not be decomposed completely in plasma and that is a reason why the recovery of hardly vaporized elements was less than 100%.

研究分野：分析化学、環境化学

キーワード：PM2.5大気粉塵 リアルタイムモニタリング 環境分析 ICP-MS 発生源解明

1. 研究開始当初の背景

これまで中央大学理工学部 環境化学研究室では、1995年5月より18年間に渡り、大気粉塵を粒径別 (< 2 μm、2-11 μm、> 11 μm の3段階) にフィルター上に捕集し、その中の金属元素をモニタリングし続けてきた。具体的には、1ヶ月に1回の頻度で主成分元素 (Na, Mg, Al, K, Ca, Fe の6元素) を誘導結合プラズマ発光分析法 (ICP-OES)、微量元素 (Li, Be, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Sb, Ba, Pb の17元素) を誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP-MS) でモニタリングし続けてきた。世界的にみてこのように長期間に渡って多元素をモニタリングしている例はない。今までの研究により、以下のようなことを明らかにした。

(1) 重量濃度で比較すると2 μm以下の大気粉塵が最も多く、全体の約60%を占めている。その2 μm以下の大気粉塵中にアンチモン (Sb)、セレン (Se)、カドミウム (Cd)、鉛 (Pb)、ヒ素 (As) などの汚染元素が、地殻の濃度と比較して1000倍から10000倍も濃縮していることが明らかとなった。

(2) フィルター捕集する手法を用いて、時々刻々と変化する大気の動態を把握することは困難であった。そこで、新たに開発されたガス交換器 (GED) を用いることで、大気中の粒子を損失することなく、ガス分子を空気から Ar に置換した後に、高い検出感度を持つ ICP-MS に直接導入できるようにした。この試料導入システムを ICP-MS と結合させることにより、大気粉塵中に含まれる微量元素をリアルタイムで測定することを可能にした (図1参照)。

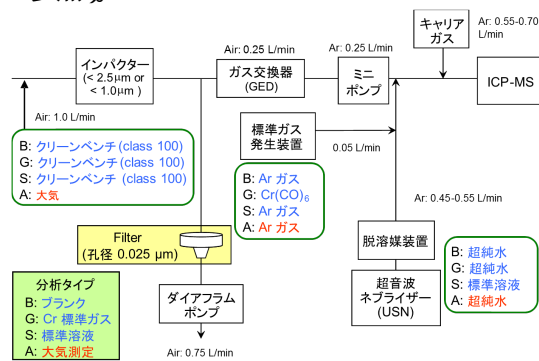


図1 大気粉塵のリアルタイムタイム
モニタリングシステム

インパクターを通して粒径 < 1.0 μm の大気粉塵 (PM1.0) を選択し、その一部を分岐させた。その後、GED を通して ICP-MS に直接導入し、リアルタイム測定を行った。同時に大気粉塵をニトロセルロースフィルター (孔径 0.025 μm) 上に捕集した。

そして、測定終了と同時にフィルターを回収し、マイクロ波酸分解を行った。測定は15元素の多元素同時定量モードで行った。リアルタイムデータをフィルター捕集データで

割り、元素の回収率を計算した。その結果、酸化物の融点及び沸点が低い7元素 (V, Co, As, Mo, Sb, Ti, Pb) の回収率は62-132%と比較的良好な回収率を示したが、酸化物の融点及び沸点の高い8元素 (Ti, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Sn, Ba) では回収率が50%以下であった。このことから、たとえ PM1.0 の小さな大気粉塵を ICP-MS のプラズマに導入しても、ICP-MS 中では完全に原子化・イオン化されていない可能性が考えられる。

2. 研究の目的

中国からの PM2.5 (直径 2.5 μm 以下の大気粉塵) の越境汚染が深刻な問題となっている。通常、大気粉塵中の微量元素を測定するためには、大気粉塵をフィルター上に捕集し、酸分解しオフラインで測定するのが普通である。しかし、この通常の方法で得られる値は数時間から数日間の平均値となる。そこで申請者は、大気粉塵を直接 ICP-MS に導入し、大気粉塵中の微量元素をリアルタイムで測定するシステムを確立した。本申請では今までに開発したシステムを改良して PM2.5 大気中粉塵中微量元素のリアルタイムモニタリングを行えるようにする。得られた元素組成及び粒子形状・大きさの分布と、気象要素との相関から大気粉塵の発生源を解明する。得られた結果は、国内の環境行政施策の基礎データとなると共に、中国からの PM2.5 越境汚染の影響を敏感に捕らえることに利用できる。

3. 研究の方法

平成25年度までに、大気を連続的にサンプリングし、大気中の大気粉塵を ICP-MS 装置に直接導入するリアルタイムモニタリングシステムを構築した (図1参照)。しかし、PM1.0 と小さな大気粉塵でさえ、気化しにくい元素は ICP プラズマ中で完全に原子化・イオン化されていない。そこで、本申請では、プラズマの温度を高めたり、プラズマ中での試料滞在時間を長くさせるよう、モニタリングシステムを改良し、PM1.0 はもちろん PM2.5 でもプラズマ中で完全に原子化・イオン化できるようにする。そして、PM2.5 大気粉塵の発生源を明らかにする。

4. 研究成果

【平成26年度】

1 μm 以下の大気粉塵 (PM1.0) のリアルタイムモニタリングを2014年10月23日から30日まで、5分間隔に1週間連続して行った。元素濃度は風向に応じて大きく変化した。その時間変化の傾向から元素を4つのグループに分けることができた。Group 1: Al, Ti, Fe の起源は土壌だと考えられる。Group 2: Cu, Se, Cd は焼却場から発生する焼却飛灰が起源だと考えられる。Group 3: V, Ni は重油の燃焼が起源だと考えられる。Group 4: As, Sb は揮発性元素として同一の挙動を示した。

【平成 27 年度】

昨年度に引き続き、1 μm 以下の大気粉塵 PM1.0 を誘導結合プラズマ質量分析計に直接導入することによりリアルタイムモニタリングを 2015 年 4 月 27 日から 30 日、8 月 3 日から 6 日、11 月 16 日から 18 日に行った。季節変化よりも、風向に大きく影響していた。特にリアルタイムモニタリングを行った 2015 年 4 月 27 日から 30 日は、主に南風が吹いており、V と Ni が同じ挙動を示した。この結果は、サンプリング地点（中央大学）の南の方向に位置する京葉工業地帯で使用されている重油の燃焼による影響であると考えられる。リアルタイムモニタリングを行うと同時に、大気粉塵を、孔径 0.025 μm のニトロセルロースフィルターに捕集し、フィルターごと酸分解して得られた大気粉塵中元素濃度（フィルター捕集データ）を求めた。リアルタイムモニタリングで得られた大気粉塵中の元素濃度（リアルタイムデータ）を、フィルター捕集データで割り算をし、回収率を求めた。その結果、気化し易い元素の回収率は 100% 以上となり、気化しにくい元素の回収率は 100% 以下となった。回収率が 100% 以下となったのは、プラズマ中で完全に気化・原子化・イオン化されていないことが原因だと考えられる。一方、回収率が 100% 以上となったのは、気化し易い元素は小さな粒径の大気粉塵に濃縮しており、その小さな粒径の大気粉塵がフィルター上に捕集されないことが原因だと考えられる。

【平成 28 年度】

昨年度に引き続き、1 μm 以下の大気粉塵 PM1.0 を誘導結合プラズマ質量分析計に直接導入することによりリアルタイムモニタリングを 2016 年 10 月 13 日から 14 日、12 月 6 日から 7 日に行った。

【平成 26 年度から 28 年度までの 3 年の結果】リアルタイムモニタリングを行うと同時に、大気粉塵を、孔径 0.025 μm のニトロセルロースフィルターに捕集し、フィルターごとに酸分解して得られた大気粉塵中元素濃度（フィルター捕集データ）を求めた。リアルタイムモニタリングで得られた大気粉塵中の元素濃度（リアルタイムデータ）を、フィルター捕集データで割り算をし、回収率を求めた。その結果、気化し易い元素の回収率は 100% 以上となり、気化しにくい元素の回収率は 100% 以下となった。回収率が 100% 以下となったのは、プラズマ中で完全に気化・原子化・イオン化されていないことが原因だと考えられる。一方、回収率が 100% 以上となったのは、気化し易い元素は小さな粒径の大気粉塵に濃縮しており、その小さな粒径の大気粉塵がフィルター上に捕集されないことが原因だと考えられる。プラズマ中で完全に気化・原子化・イオン化されないことを改善する為、塩酸を加熱して生成させた塩化水素ガスとアブレート粒子を反応させることにより、アブレート粒子中の金属成分の一部を塩

化物に変換させることにより、プラズマ中での気化・原子化・イオン化を加速させた[雑誌論文]。

平成 26 年度から平成 28 年度にかけて行ったリアルタイムモニタリングの結果を研究室のホームページに掲載し、広く一般に公表した。

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 9 件)

D. Gomez, T. Nakazawa, N. Furuta, P. Smichowski: "Multielemental chemical characterisation of fine urban aerosols collected in Buenos Aires and Tokyo by plasma-based techniques", *Microchem. J.*, **133**, 346-351 (2017). 査読有

DOI:

<http://doi.org/10.1016/j.microc.2017.03.041>

R. Machida, R. Nishioka, M. Fujiwara and N. Furuta: "Determination of trace elements in sintered and single-crystal silicon carbide by laser ablation in liquid inductively coupled plasma mass spectrometry", *Anal. Sci.*, **33**(4), 537-544 (2017). 査読有

DOI: 10.2116/analsci.33.537

T. Nakazawa, S. Izumo, and N. Furuta: "Acceleration of vaporization, atomization, and ionization efficiencies in inductively coupled plasma by merging laser-ablated particles with hydrochloric acid gas", *Anal. Sci.*, **32**(12), 1283-1289 (2016). 査読有

DOI: 10.2116/analsci.32.1283

安孫子拓斗, 小林慧人, 松川岳久, 篠原厚子, 古田直紀: "セレン欠乏によるマウス脳内の必須微量元素(Mn, Fe, Cu, Zn, Se)を含むタンパク質への影響", *分析化学*, **65**(7), 371-378 (2016). 査読有

DOI:

<http://doi.org/10.2116/bunseki Kagaku.65.3741>

R. Machida, T. Nakazawa and N. Furuta: "Temporal changes of size distribution of mass and relative intensity for ablated particles during laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry", *J. Anal. At. Spectrom.*, **31**(3), 809-814 (2016). 査読有

DOI: 10.1039/c5ja00424a

R. Machida, T. Nakazawa, Y. Sakuraba, M. Fujiwara and N. Furuta: "Particle

size-related elemental fractionation in laser ablation in liquid inductively coupled plasma mass spectrometry", *J. Anal. At. Spectrom.*, **30**(12), 2412-2419 (2015). 査読有
DOI: 10.1039/c5ja00349k
R. Machida, T. Nakazawa and N. Furuta: "Temporal changes of fractionation index caused by changes in the large size of ablated particles in laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry", *Anal. Sci.*, **31**(5), 345-355 (2015). 査読有
DOI: 10.2116/analsci.31.345
T. Nakazawa, D. Suzuki, H. Sakuma and N. Furuta: "Comparison of signal enhancement by co-existing carbon and by co-existing bromine in inductively coupled plasma mass spectrometry", *J. Anal. At. Spectrom.*, **29**(7), 1299-1305 (2014). 査読有
DOI: 10.1039/c4ja0059r
Y. Suzuki, A. Nobusawa, and N. Furuta: "Quantification of protein by measuring the sulfur content of their constituent peptides by means of Nano HPLC-ICPMS", *Anal. Sci.*, **30**(5), 551-559 (2014). 査読有
DOI: 10.2116/analsci.30.551

[学会発表](計 43件)

1. R. Fukushi, T. Nakazawa, S. Nishida, N. Furuta: Measurement of elements in airborne particulate matter: comparison between real-time monitoring data and filter-collection data; European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry 2017, Sankt Anton (Austria), 2017.2,21 and 23.
2. N. Ohata, S. Nishida, N. Furuta: Speciation change of chlorine, bromine and iodine in the treatment process of a public water treatment plant; European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry 2017, Sankt Anton (Austria), 2017.2,21 and 23.
3. M. Asami, S. Nishida, N. Furuta: Speciation analysis of iodine in drinking water and raw water using IC-ICPMS and SEC-ICPMS; European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry 2017, Sankt Anton (Austria), 2017.2,21 and 23.
4. M. Fujiwara, K. Hirosawa, R. Machida, N. Nonose, S. Nishida, N. Furuta: Quantification of trace elements in sintered silicon carbide by inductively coupled plasma-mass spectrometry with laser ablation in liquid and isotope-dilution analysis; European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry 2017, Sankt Anton (Austria), 2017.2,21 and 23.
5. H. Otsuka, S. Nishida, N. Furuta: Development of method for detecting sulfur- and/or selenium-containing peptides in trypsin digests of selenoprotein using capillary HPLC-ICPMS; European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry 2017, Sankt Anton (Austria), 2017.2,21 and 23.
6. Y. Ono, D. Yamada, S. Nishida, N. Furuta: Investigation of the cause of elemental fractionation in laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry; European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry 2017, Sankt Anton (Austria), 2017.2,21 and 23.
7. 牧野 友香, 西田 翔, 古田 直紀: ヘパリンカラム-サイズ排除カラム-ICPMSによる微量の血漿中に存在する Fe, Cu, Zn, Se の化学形態別分析; 日本分析化学会第 65 年会, 北海道大学(北海道札幌市), 2016 年 9 月 16 日.
8. 湯永 祐介, 西田 翔, 古田 直紀: イオンクロマトグラフィー-ICPMS を用いた環境水中における F を含むハロゲン化合物の同時定量; 日本分析化学会第 65 年会, 北海道大学(北海道札幌市), 2016 年 9 月 16 日.
9. 齊藤 慧, 西田 翔, 古田 直紀: 82Se を濃縮したセレノメチオニンと亜セレン酸を投与した Se 欠乏群マウス筋肉中に存在する Fe, Cu, Zn, Se の化学形態別分析; 日本分析化学会第 65 年会, 北海道大学(北海道札幌市), 2016 年 9 月 15 日.
10. 田代 裕規, 西田 翔, 古田 直紀: 82Se を濃縮したセレノメチオニンまたは亜セレン酸を静脈注射した Se 欠乏マウス肝臓中の Fe, Cu, Zn, Se の化学形態別分析; 日本分析化学会第 65 年会, 北海道大学(北海道札幌市), 2016 年 9 月 15 日.
11. 小野 祐輔, 西田 翔, 古田 直紀: レーザーアブレーション-誘導結合プラズマ質量分析法(LA-ICPMS)におけるプレートセルと ICP 中で観測される元素分別効果の比較と考察; 日本分析化学会第 65 年会, 北海道大学(北海道札幌市), 2016 年 9 月 14 日.
12. N. Furuta, R. Fukushi, Y. Ono: Long term and real time monitoring of multi-elements concentration in airborne particulates; 39th International Symposium on Environmental Analytical Chemistry, Hamburg (Germany), 2016.7.19.

13. N. Furuta, R. Machida, R. Nishioka, M. Fujiwara: Analysis of hard-to-digest ceramics by using laser ablation in liquid; 8th Nordic Conference on Plasma Spectrochemistry, Loen (Norway), 2017. 6.6 .
14. N. Furuta, R. Fukushi, T. Nakazawa: Real time monitoring of multi-elements concentration in airborne nano-particles (ANPs) by direct introduction into ICPMS; 2016 Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, Tucson (USA), 2016.1.15.
15. N. Furuta, R. Machida, T. Nakazawa: How does the elemental fractionation occur in LA-ICPMS and how can we solve it?; 2016 Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, Tucson (USA), 2016. 1.12.
16. N. Furuta, R. Fukushi, T. Nakazawa : Real time monitoring of multi-elements concentration in airborne nano-particles (ANPs) by direct introduction into ICPMS; 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, Honolulu (USA), 2015.12.17.
17. A. Iijima, H. Sato, A. Kuribara, S. Kudo, N. Furuta : Source apportionment of size-classified airborne particulate matter by multi-element fingerprinting; 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, Honolulu (USA), 2015.12.16.
18. M. Fujiwara, Y. Sakuraba, R. Machida, T. Nakazawa, N. Furuta : Precise and accurate determination of Sn in NIST 610 glass standard by laser ablation in liquid with isotope dilution ICPMS; 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, Honolulu (USA), 2015.12.16.
19. R. Machida, T. Nakazawa, N. Furuta: Temporal changes in the fractionation index explained by the changes of size distribution of ablated particles ; 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, Honolulu (USA), 2015.12.16.
20. M. Seto, T. Nakazawa, N. Furuta: Speciation analysis of bromine in tap water by IC-ICPMS and ESI-MS; 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, Honolulu (USA), 2015.12.16.
21. K. Uonomi, T. Nakazawa, N. Furuta: Elucidation of the origin of suspended particles in the Sumida River estuary; 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, Honolulu (USA), 2015.12.16.
22. . Masuda, T. Nakazawa, N. Furuta: Speciation analysis of iodine in the Kanda River water by IC-ICPMS and ESI-MS; 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, Honolulu (USA), 2015.12.16.
23. T. Abiko, K. Kobayashi, T. Nakazawa, T. Matsukawa, Y. Matsumoto-Omori, A. Shinohara, N. Furuta: Effects of selenium deficiency on proteins containing essential trace elements of Mn, Fe, Cu, Zn, and Se in Brain of mice; The 5th International Symposium on Metallomics, Beijing (China), 2015.9.10 and 11 .
24. N. Furuta, T. Yamamoto, K. Kobayashi, T. Nakazawa, T. Matsukawa, Y. Matsumoto-Omori, A. Shinohara : Difference of selenium metabolisms between intravenous injections of Se-82 enriched selenite and selenomethione; The 5th International Symposium on Metallomics, Beijing (China), 2015.9.11.
25. 浅見 真紀, 中澤 隆, 古田 直紀: IC-ICPMS 及び SEC-ICPMS を用いた水道水原水及び水道水中に含まれるヨウ素の化学形態別分析; 日本分析化学会第 64 年会, 九州大学 (福岡県福岡市), 2015 年 9 月 11 日 .
26. 大塚 拓紀, 中澤 隆, 古田 直紀: 82Se を濃縮した 82Se メチオニンを静脈注射したマウス肝臓中の cGPx をトリプシン分解して生成した Se ペプチドの解析; 日本分析化学会第 64 年会, 九州大学 (福岡県福岡市), 2015 年 9 月 11 日 .
27. 大畑 直也, 中澤 隆, 古田 直紀: 浄水場の流入水と供給水を比較することによる高度浄水処理により増加した Cl, Br 及び I の原因究明; 日本分析化学会第 64 年会, 九州大学 (福岡県福岡市), 2015 年 9 月 10 日 .
28. 藤原 正英, 中澤 隆, 古田 直紀: 液中レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析法によるガラス標準物質 NIST 610 中の Sn の精確な定量; 日本分析化学会第 64 年会, 九州大学 (福岡県福岡市), 2015 年 9 月 10 日 .
29. 福士 亮平, 中澤 隆, 古田 直紀: ガス微粒子化装置 (GPD) を用いた Sb と As のガス状成分のリアルタイム分析; 日本分析化学会第 64 年会, 九州大学 (福岡県福岡市), 2015 年 9 月 9 日 .
30. 森 美紗樹, 中澤 隆, 古田 直紀: 水耕栽培で育てたトマトの葉に取り込まれた Zn の化学形態別分析; 第 75 回分析化学討論会, 山梨大学 (山梨県山梨市),

- 2015年5月24日。
31. N. Furuta, M. Seto, M. Asami, N. Ohata, T. Nakazawa: Speciation analysis of halogen compounds in tap water and its source water by ion chromatography-ICPMS; The 6th Asia-Pacific Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, Xiamen (China), 2015.5.20.
 32. N. Furuta: Seleno-amino-acid analysis of selenoproteins revealed increased selenoproteins after intravenous injection of Se-82 enriched selenite or selenomethionine in mice; 2015 European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, Munster (Germany), 2015.2.25.
 33. T. Nakazawa, R. Fukushi, N. Furuta: Quantification of multi-elements in airborne particulate matter by real-time monitoring ICP-MS and their correlation with wind direction and velocity; 2015 European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, Munster (Germany), 2015.2.25.
 34. J. Takeda, K. Uonomi, T. Nakazawa, N. Furuta: Behavior of suspended and dissolved phases in the Sumida river estimated from Rees pattern obtained by using ICP-MS; 2015 European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, Munster (Germany), 2015.2.25.
 35. Y. Yoshida, J. Tsujino, T. Inaba, T. Nakazawa, N. Furuta: Determination of casein and analysis of degree of phosphorylation by measuring S and P with ICP-MS; 2015 European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, Munster (Germany), 2015.2.23.
 36. S. Izumo, K. Nishiguchi, R. Machida, T. Nakazawa, N. Furuta: Improvement of the ionization in ICP by merging HCl gas to laser ablated particles; 2015 European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, Munster (Germany), 2015.2.23.
 37. K. Kobayashi, T. Yamamoto, T. Nakazawa, Y. Ohmori, T. Matsukawa, A. Shinohara, N. Furuta: Seleno-amino-acid analysis of selenoprotein P in mouse plasma after intravenous injection of Se-82 enriched selenite or selenomethionine by using ion-pair reversed-phase HPLC-ICPMS; 2015 European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, Munster (Germany), 2015.2.23.
 38. 古田直紀, 安孫子拓斗, 小林慧人, 中澤隆, 松川岳久, 篠原厚子: Se 欠乏マウス脳内の Se, Fe, Cu, および Zn を含

- むタンパク質の測定; 第4回メタロミクス研究フォーラム, 武蔵野大学(東京都武蔵野市), 2015年11月8日。
39. 安孫子 拓斗, 小林 慧人, 中澤 隆, 松川 岳久, 篠原 厚子, 古田 直紀: セレン欠乏によるマウス脳内の必須微量元素 (Fe, Cu, Zn) を含むタンパク質への影響; 日本分析化学第63年会, 広島大学(広島県東広島市), 2015年9月18日。
 40. 瀬戸 将之, 中澤 隆, 古田 直紀: 水道水中に含まれる臭素系消毒副生成物の解明; 日本分析化学第63年会, 広島大学(広島県東広島市), 2015年9月18日。
 41. 魚躬 和真, 中澤 隆, 古田 直紀: 隅田川河口域における河川懸濁態の起源解明; 日本分析化学第63年会, 広島大学(広島県東広島市), 2015年9月18日。
 42. 増田 英仁, 中澤 隆, 古田 直紀: 神田川河川水溶存態中に観測された未同定ヨウ素化合物の IC-ICPMS 及び ESI-MS による同定; 日本分析化学第63年会, 広島大学(広島県東広島市), 2015年9月18日。
 43. 町田 亮, 中澤 隆, 古田 直紀: Laser Ablation によりアブレートされた粒子の粒径分布と Fractionation Index の経時変化を用いた元素分別効果の解明; 日本分析化学第63年会, 広島大学(広島県東広島市), 2015年9月17日。

〔図書〕(計 1件)

Y. Suzuki and N. Furuta: "Protein quantification and quantitative phosphorylation analysis by the determination of hetero atoms (S and P) by means of nanoHPLC-ICPMS", in *Metallomics -Recent Analytical Techniques and Selected Applications-*, eds. Y. Ogura and T. Hirata, Chapter 8, 157-180, Springer (2017).

〔その他〕

ホームページ等

<http://envsun.chem.chuo-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

古田 直紀 (FURUTA, Naoki)

中央大学・理工学部応用化学科・教授

研究者番号: 90101055

(2)研究分担者

中澤 隆 (NAKAZAWA, Takashi)

中央大学・理工学部応用化学科・助教

研究者番号: 10709687