

2 学会等発表

名古屋市における PM2.5 の特異的高濃度事例の発生源解析

山神真紀子, 池盛文数, 久恒邦裕, 中島寛則, 高柳聡子, 長田和雄¹⁾

¹⁾ 名古屋大学大学院環境学研究科

第 34 回エアロゾル科学・技術研究討論会（東京都江東区）2017 年 8 月

【はじめに】

PM2.5 の自動測定機によって得られる 1 時間値は、市域などの狭い範囲内では濃度とその変動が一致することが多い。しかし、1 時間値が他の地点とは異なって特異的に高濃度を示す場合がある。この場合、近くに PM2.5 の発生源が存在する可能性がある。そこで、1 時間値で高濃度を示す地点を含む 6 地点で実施した PM2.5 成分分析調査結果を用いて、Positive Matrix Factorization (PMF) 解析 (Paatero, 1997) により近傍の発生源プロファイルの抽出および寄与率を推定した。

【方法】

PM2.5 の自動測定機のテープろ紙 (PTFE) に捕集された試料を電子顕微鏡 (SEM-EDS) で定性分析した。その後、テープろ紙上の試料を酸分解し、ICP-MS により無機元素成分を分析して、高濃度時の PM2.5 の成分を確認した。PMF 解析には 24 時間採取の PM2.5 の成分分析結果を用いた。採取および成分分析方法は環境省マニュアル (環境省) に従った。PM2.5 の成分データは常時監視の四季の調査の 3 年間×6 地点 (n=987) のイオン成分、炭素成分、無機元素成分の測定結果を使用した。PMF には EPA-PMF5.0 を用いた。

【結果と考察】

地点 A と市内の他の 3 地点 は一致した濃度変動を示している期間と、地点 A が他地点に比べて特異的に高濃度を示す期間があることがわかった。地点 A で高濃度となった時間帯の PM2.5 自動測定機のテープろ紙には、黄色い粒子が付着していた。この黄色い粒子を SEM-EDS により定性分析したところ、鉄 (Fe)、酸素 (O)、銅 (Cu) が多いことがわかった。

Fe と Cu が多く含まれていることが分かったため、PM2.5 が高濃度となった時間帯を含む 21 時間分のテープろ紙を、3 時間ごとにまとめて 1 サンプルとし、無機元素成分を測定した。PM2.5 濃度の上昇とともに、複数の無機元素成分の濃度上昇が見られた。PM2.5 濃度と相関係数が 0.9 以上 (n=7) あった成分はニッケル (Ni) (r=0.94)、Fe (r=0.93)、Cu (r=0.93)、クロム (Cr) (r=0.91)、マンガン (Mn) (r=0.92)、コバルト (Co) (r=0.92)、モリブデン (Mo) (r=0.93)、スズ (Sn) (r=0.94) であった。測定した無機元素のうち、最も多く含まれていたのは Fe であった。しかし、PM2.5 の質量濃度に対する Fe の割合はそれぞれ 14%、8.5% しかなく、それ以外の無機元素成分は 1% 以下であり、PM2.5 の濃度上昇に寄与する大部分の成分は不明であった。

そこで、PMF 解析により、高濃度の原因となっている発生源のプロファイルの抽出を試みた。発生源地点 A を含む年間 6 地点、3 年間の PM2.5 成分分析調査結果を用いて PMF 解析を行った。その結果、発生源因子は 9 種類に分類された。これらの因子のうち、自動測定機のテープろ紙を分析した際に高濃度となった Fe、Mn、Cu が多く含まれる因子が抽出された。これを局所的発生源 (Fe) とした。その他の因子は、土壌、塩化物、重油燃焼、海塩、石炭燃焼、自動車+バイオマス燃焼、硝酸塩、工業と推定された。局所的発生源 (Fe) の Fe の割合は 10% と推定され、特異的高濃度時のテープろ紙を分析した結果と同程度の割合であった。

以上のことから、テープろ紙の分析では不明であった高濃度に大きく寄与する成分は、元素状炭素 (EC) 49% と不水溶性有機炭素 (WISOC) 29% と推定された。局所的発生源 (Fe) の地点 A における寄与濃度は 3 年間でもっとも高い場合で 9.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、平均 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n=168)、発生源寄与率は平均 15% と推定された。また、他地点での局所的発生源 (Fe) の寄与濃度は 0.3~1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

謝辞：本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(5-1604)により実施されました。また、PMF 解析は国立環境研究所と地方環境研究所による II 型共同研究により実施されました。ここに謝意を表します。

名古屋市南部における海陸風別 PM2.5 の化学成分

山神真紀子, 池盛文数, 久恒邦裕, 長田和雄¹⁾

¹⁾ 名古屋大学大学院環境学研究科

第 58 回大気環境学会年会（神戸市）2017 年 9 月

【はじめに】

PM2.5 は関東や東海など大都市港湾部を中心とする地域で濃度が高く、都市域で排出あるいは二次生成される PM2.5 の発生源寄与の解明が必要である。港湾部からは、発電や工業、船舶等からの大気汚染物質が排出されており、風向によっては都市域全体に影響する。そこで本研究では、風向別の大気サンプリングを行い、PM2.5 の化学成分の風向別傾向について調べた。

【方法】

ウインドセクター（紀本電子工業、WS-16）を付けた 2 台のハイボリュームサンプラーを名古屋市環境科学調査センター（名古屋市南区）屋上に設置し、1 週間単位で風向別に PM2.5 を PTFE ろ紙上に捕集した。海風は南風 112～248 度、陸風は北風 0～68、292～360 度の範囲で風速 1 m/s を超えた場合に採取する設定とした。2016 年 8 月 1 日～10 月 17 日に捕集した試料のイオン成分、水溶性有機炭素（WSOC）、無機元素成分、有機トレーサー成分を測定した。

【結果と考察】

採取地点における風向頻度は、8～9 月では南風と北風が混在していたが、10 月中旬以降はほぼ北風のみとなった。同時に稼働している PM2.5 自動測定機（紀本電子工業、PM712）による風向別の PM2.5 濃度は、南風の時に濃度が高くなっており、南風で $10.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、北風で $7.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、 $3.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度差が見られた。イオン成分はほとんどが南風で濃度が高い傾向を示し、最も濃度差が大きい成分は SO_4^{2-} であった。一方、WSOC は 8 月～9 月上旬では北風時で濃度が高くなっており、9 月中旬以降には両者に差がなくなっていた。無機元素成分では、V、Cr、Ni、Se、Mo が南風で高く、Sn が北風で高かった。有機トレーサー成分は、8 月～9 月上旬において、イソプレン由来の二次生成物である 2-メチルエリスリトール、トルエンの二次生成物として報告されている 2,3-ジヒドロキシ-4-オキソペンタン酸が北風で高かった。またピネン由来の二次生成物のピン酸、植物燃焼から排出されるレボグルコサンは観測期間中北風で高い傾向が見られた。南風で高い SO_4^{2-} と V は相関が高く ($R=0.65$, $n=11$)、重油燃焼の寄与が推定された。また北風で高い WSOC はイソプレン由来の二次生成物、トルエン等の人為起源 VOC 由来の二次生成物の寄与が推定された。

謝辞：本研究は（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（5-1604）により実施された。

大気中粒子の電子顕微鏡による観察事例

中島寛則

第 44 回環境保全・公害防止研究発表会（長崎市）2017 年 11 月

1. はじめに

電子顕微鏡は光学顕微鏡に比べてより高倍率で試料を観察することができ、医学分野、工業分野など多くの分野で利用されている。また X 線分析装置と組み合わせることにより、表面形状の観察に加えて、元素組成の分析も可能であることから、大気環境の調査においても広く活用されており、名古屋市環境科学調査センターでも、2012 年度より分析走査電子顕微鏡(A-SEM)を用いて、敷地境界におけるアスベスト分析調査や苦情粉じんの成分分析を実施している。

そこで今回は、主に粉じん苦情に焦点を当て、飛散してくる粉じんの形態観察および成分の特定を行うことによって、発生源をある程度推定可能となり、苦情の解決に寄与することができたので、そのうちいくつかの事例について報告する。また SPM 高濃度事例における A-SEM を用いた発生源の推定も行ったので、あわせて報告する。

2. 調査方法

苦情粉じんはカーボン両面テープを直接堆積粉じんに付着させて試料を採取し、カーボン製試料台に乗せ、導電性付与のためコーティングし、表面観察および含有成分の分析を行った。なお、一部の試料についてはコーティングを行わず、低真空モードで分析を行った。

SPM 高濃度時はテープろ紙を切り取りカーボン両面テープに貼り付けて試料を作成した。

表面観察時の加速電圧、スポットサイズおよび観察倍率は、試料ごとに最適条件を検討し、観察を行った。

含有成分の分析についても、解析ソフトを用いてスペクトル分析、マッピング分析等さまざまな方法で分析を行い、同時に簡易定量も行うことで、おおよその元素含有率を求めた。

3. 結果と考察

走査型電子顕微鏡およびエネルギー分散型 X 線分析装置を用いてさまざまな粉じん粒子を分析した結果、さまざまな形状や元素組成の粒子が観察された。

類似の形状をした粒子でも元素組成が一樣ではないが、球形粒子には燃焼によって生じた酸化鉄が多いなど、一定の傾向も認められた。

苦情粉じんには土壌粒子のほかに酸化鉄の粒子も多く認められる傾向があった。また、硫酸カルシウムなど一般的にあまり見られない粒子が観察される場合もあった。

SPM 高濃度時のろ紙の分析では、燃焼性の酸化鉄や燃焼性塩素が多く見られる例もあった。

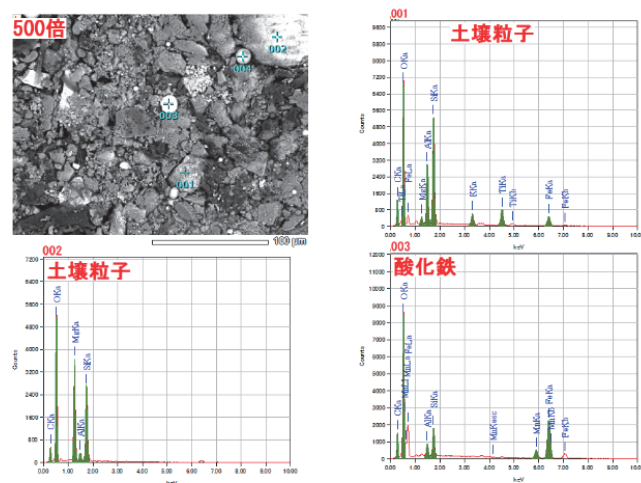


図 1 苦情粉じんの解析事例

名古屋における大気粒子中のニトロ化芳香族炭化水素類について

池盛文数, 長谷川 瞳, 中山智喜¹⁾

¹⁾ 名古屋大学宇宙地球環境研究所

第34回エアロゾル科学・技術研究討論会（東京都江東区）2017年8月

【はじめに】

様々な有機化合物から構成される有機エアロゾルについて、その発生源や生成メカニズムは非常に複雑であるため、その発生源や起源を推定することは非常に難しい。近年、特定の発生源から排出、また VOC から二次生成する有機物が報告されている。ニトロ化芳香族炭化水素類 (NAHCs) は、大気中の二次生成や植物燃焼で排出されることが報告されている。NAHCs はニトロ基を有することから健康影響が懸念され、また光を吸収することから気候変動の観点でも興味深い化合物である。本研究では、名古屋で捕集した PM_{2.5} 中の NAHCs の測定を行い、その季節傾向を調べ、また有機トレーサーとの関係から発生源について考察したので報告する。

【実験方法】

PM_{2.5} は、名古屋市環境科学調査センター (NCIES) 屋上で FRM 準拠の LV サンプラーを用いて 4-8 日の採取を行った。捕集は 2011 年 4 月から可能な限り継続して行っている。有機成分の測定は、試料に内標準物質を添加後、ジクロロメタンとメタノールの混合溶液 (2:1) を加え、超音波抽出した。その後、抽出液の一部を GC/MS 測定用に分取し、窒素吹付で乾固させ、N₂O-ビス (トリメチルシリル) トリフルオロアセトアミド (BSTFA) とクロロトリメチルシラン (TMCS) の混合試薬 (BSTFA+1%TMCS, ジーエルサイエンス) を 40μL, ピリジンを 10 μL 加え、70℃で 1 時間半加熱した。加熱終了後、室温にし、イソオクタンを加え希釈した。希釈液について、GC/MS (Agilent) を用いて発生源指標となる有機物濃度の測定を行った。残りの抽出液は、別途、窒素吹き付けで乾固し、メタノールに再溶解させた後、LC/MS/MS (Waters) で NAHCs を測定した。

【結果と考察】

NAHCs で年平均値が一番高かったのは、4-ニトロカテコール (4NC) の 1.1 ng/m³ であった。続いて p-ニトロフェノール (pNP) が 0.42 ng/m³, 4-ニトロ-5-メチルカテコール (4M5NC) が 0.38 ng/m³ と続いた。ニトロカテコール類 (NCs) である 4NC と 4M5NC には強い相関があり (各季節、相関係数が 0.95 以上)、秋から冬にかけて高濃度となった。この 2 成分については、秋と冬にレボグルコサンとの相関係数が大きいことから (0.95 以上)、植物燃焼からの排出が大きな発生源となっていることが示唆される。一方、春季、夏季については、4NC, 4M5NC とともに低濃度であり、レボグルコサンとの相関は弱く、フタル酸と良好な相関が見られた。フタル酸は、ナフタレンの 2 次反応により生成することが知られている。よって、春季、夏季については、植物燃焼よりも二次的に生成する量が多いことが考えられる。ニトロサリチル酸類 (NSA) である、3-ニトロサリチル酸 (3NSA), 5-ニトロサリチル酸 (5NSA) および 3,5-ジニトロサリチル酸 (35DNSA) に関して、モノニトロ体の 3NSA および 5NSA と、ジニトロ体の 35DNSA でその季節変動が違っており、3NSA および 5NSA は夏に濃度が低く、秋冬に高い傾向があり、35DNSA は夏、秋に濃度が高く、冬に濃度が低下していた。特に夏において、35DNSA が 3NSA や 5NSA より高濃度となりことが興味深い。3 成分の濃度が高い秋について、3NSA および 5NSA は LEV と相関が見られるが、35DNSA は見られなかったことから、モノニトロ体とジニトロ体で、その主要発生源が異なることが推察される。ニトロフェノール類 (NPs) である、pNP, 2-メチル-4-ニトロフェノール (2M4NP) および、3-メチル-4-ニトロフェノール (3M4NP) は似た濃度変動を示し、各成分で相関が見られた。夏に低濃度、冬に高濃度の季節変動が見られたため、特に気温の高い夏は気相への分配の影響が大きいことが考えられる。以上より NAHCs はその成分により、発生源が大きく違うことが示唆された。

風向別捕集した PM_{2.5} 中の有機物の特徴

池盛文数, 山神真紀子, 久恒邦裕, 長田和雄¹⁾

¹⁾ 名古屋大学大学院環境学研究科

第 34 回エアロゾル科学・技術研究討論会（東京都江東区）2017 年 8 月

【はじめに】

PM_{2.5}の年平均濃度は、越境汚染の影響を受けやすい西日本だけでなく、関東や東海など大都市港湾部を中心とする地域で環境基準を超過しているため、都市域で排出あるいは二次生成される PM_{2.5} の発生源寄与の解明が必要である。PM_{2.5}の主要成分である有機炭素 (OC) は、夏季の光化学反応、秋や冬の農業残渣物の野外焼却など、季節特有の発生源の影響を受けていると考えられる。夏の二次生成には、都市部に多い自動車から排出される VOC に加え、港湾部の発電や工業、船舶等から排出される VOC も関与していると考えられる。また野外焼却に関しては、都市部近郊の農業用地からの影響を都市部が受けている可能性が考えられ、風向によっては都市域全体に影響する。しかしこれまでは、日別の成分解析が主体であり、風向別の有機成分についての解析例は少ない。そこで本研究では、風向別（北風（陸風）、南風（海風））に PM_{2.5} を捕集し有機成分分析を行い、その特徴を調べた。

【実験方法】

PM_{2.5}の捕集は、2016 年 8 月より名古屋市環境科学調査センター (NCIES) 屋上で行った。PM_{2.5}ハイボリュームエアサンプラー (HV) 用インパクター (700L/min 用, SIBATA) を取り付けした 2 台の HV (120SL, KIMOTO) を、ウインドセクター (WS-16, KIMOTO) で電源の ON/OFF をコントロールし、海風と陸風時の PM_{2.5}をそれぞれ 700 L/min で PTFE ろ紙 (POREFLON® WP500-50, 住友電工) に捕集した。なお北を 0 度とすると、陸風は 0 ~ 68 および 292 ~ 360 度、海風は 112 ~ 248 度の範囲で風速 1m/s を超えた場合に捕集した。ろ紙交換は一週間を基本に行い、捕集後のろ紙は、-60℃で冷凍保存した。WSOC は捕集ろ紙を 25mm 径のハンドボンチでろ紙を枚くりぬき、超純水に入れ一晩静置し抽出し、ろ過後、TOC 計 (Shimadzu) で測定した。有機成分の測定は以下のように行った。試料に内標準物質を添加後、ジクロロメタンとメタノールの混合溶液 (2:1) を加え、超音波抽出した。その後、抽出液の一部を分取し、窒素吹付で乾固させ、N₂O-ビス (トリメチルシリル) トリフルオロアセトアミド (BSTFA) とクロロトリメチルシラン (TMCS) の混合試薬 (BSTFA+1%TMCS, ジーエルサイエンス) を 40μL, ピリジンを 10μL 加え、70℃ で 1 時間半加熱した。加熱終了後、室温にし、イソオクタンで希釈した。希釈液について、GC/MS (Agilent 製) を用いて発生源指標となる有機物を測定した。

【結果と考察】

PM_{2.5}の風向別捕集は夏季 (8-9 月) に南風の捕集量が多く、10 月に北風の捕集量が多くなった後、10 月下旬 - 3 月中旬までは南風の捕集量は来た風に比べ 1/10 以下になることが多かった。4 月以降は南風の捕集時間の増加が見られた。また、HV の稼働時間は、各捕集期間のおおよそ 40-60%であった。WSOC は、8 月に北風が南風より濃度が高く、10 月以降は南風でやや濃度が高い傾向が見られた。WSOC は二次生成や植物燃焼などが発生源と考えられる。夏季には、NCIES の北側からの発生源の影響を強く受けていると推察される。WSOC の発生源情報を得るために有機トレーサーを測定した。8 月から 9 月上旬において、イソプレン由来の二次生成物である 2-メチルエリスリトール (2MET) が北風で南風の濃度の 1.7-7.2 倍 (平均 3.7 倍) と高濃度であった。またトルエンの二次生成物として報告されている 2,3-ジヒドロキシ-4-オキソペンタン酸 (DHOPA) も 8 月から 9 月上旬に北風で南風の 1.0-2.3 倍 (平均 1.5 倍) と濃度が高い傾向が見られた。これらの成分は、9 月中旬以降北風と南風の差がなくなる、もしくは南風で高くなる傾向が見られた。またピネン由来の二次生成物のピン酸 (PA)、植物燃焼から排出されるレボグルコサン (LEV) は観測期間中北風で高い傾向が見られた。以上の観測結果から、WSOC が 8 月から 9 月上旬において北風時で高濃度となる原因として、イソプレン由来の二次生成物、トルエンなどの人為起源 VOC 由来の二次生成物が寄与している可能性が示唆される。

大気粒子中における極性有機成分の粒径分布

池盛文数, 今井悠貴¹⁾, 大浦 健¹⁾

¹⁾ 名城大学大学院農学研究科

第 26 回環境化学討論会（静岡市）2017 年 6 月

【はじめに】

PM_{2.5} は様々な成分から構成される混合物であるが、硫酸イオンと並んで有機炭素 (OC) の組成比が大きいことがわかっており、その発生源解析は急務である。OC の発生源解析のために、ある特定の排出源より放出または、生成する有機物 (有機トレーサー) が提唱されている。これらを測定することにより、OC の発生源について有益な情報を得ることができると考えられるが、その粒径分布の季節変動については詳しくわかっていない成分が多い。そこで、名古屋で粒径別捕集した大気粒子について、シリル誘導体化法により極性を有した有機トレーサーを測定し、粒径別の季節変動について調べたので報告する。

【方法】

大気粒子は、名古屋市環境科学調査センター（愛知県名古屋市南区）の屋上で、ハイボリュームアンダーセンエアサンプラー (SIBATA) を用いて分級捕集した。捕集は、1.1 μm 以下 (PM_{1.1})、1.1-2.0、2.0-3.3、3.3-7.0、7.0 以上 (PM_{7.0<}) の 5 粒径である。サンプリングは、石英ろ紙 (450 °C、2 時間加熱) 上に 567 L/min で基本 2 週間行った。捕集後、ろ紙を冷凍保存 (-60°C) した。抽出前に試料を必要量切り取り、内部標準物質 (レボグルコサン ¹³C₆ など 16 種) を添加後、ジクロロメタン:メタノールの混合溶液 (2:1) 10 mL を加え、超音波抽出 (20 min, 1 回) を行った。抽出液を遠心分離し、ろ紙と粒子などを沈殿させた。抽出液の一部を分取し、N₂ 吹き付けで乾固した後、N,O-ビス (トリメチルシリル) トリフルオロアセトアミド (BSTFA) とクロロトリメチルシラン (TMCS) の混合液 (BSTFA+1%TMCS) を 40 μL、ピリジンを 10 μL 加え、70°C で 1 時間半加熱した。加熱終了後、室温に 5 分以上放置し温度を下げた後、シリンジスパイクとしてテトラコサン d₅₀ のイソオクタン溶液を 100 μL 加え希釈した。この希釈液について、GC/MS を用いて SIM/SCAN 法により有機物測定を行った。

【結果と考察】

植物起源 VOC のピネン由来の二次生成有機物と考えられている、ピノン酸: PNOA、ピン酸: PA、3-ヒドロキシグルタル酸: 3HGA、3-メチルブタン-1,2,3-トリカルボン酸: MBTCA について、生成機構としては、まず PNOA が生成し、続いて PA、その後、3HGA や MBTCA に酸化、分解すると考えられている。二次生成有機物は、微小側で高濃度になることが知られているが、PNOA はどの季節においても PM_{1.1} 中の濃度がもっとも低く (0.067-0.25 ng/m³)、粗大側で高濃度であった (PM_{7.0<}, 3.3-4.6 ng/m³)。続いて、PA も PNOA と同様に粗大側で高濃度である傾向が見られたが、PM_{1.1} も濃度が高かった。3HGA や MBTCA は、微小側で高濃度となる粒径分布が見られ、粗大側は微小側に比べ低濃度であった。PNOA は大気中のガス状物質が大気中もしくは捕集された土壌成分と反応することにより、粗大側に検出されている可能性が考えられる。また、石英ろ紙は捕集中にガス状物質を吸着することが知られているため、その影響も考えられる。

他の二次生成有機物について、リンゴ酸: MLA (前駆有機物質由来の二次生成物)、フタル酸: PHA (ナフタレン由来) は、3HGA や MBTCA と同様の粒径分布であった。また、トルエン由来の二次生成有機物として報告されている 2,3-ジヒドロキシ-4-オキソペンタン酸: DHOPA は、夏に PM_{1.1} が低濃度であり PM_{7.0<} が高濃度であった。本研究は 2 週間連続捕集を行っているため、様々なアーティファクトを捕集中に受けていると考えられるが、二次生成は高温で日射量の多い夏に活発であることを考えると、PNOA、PA の粒径分布や、DHOPA の夏の結果は、季節により有機トレーサーとしての取り扱いに注意が必要であることを示唆している。今後は、短い捕集時間での粒径分布の調査、捕集に PTFE やアルミホイル (バックアップは除く) などガス吸着の影響がない捕集方法との比較、ガス状物質の測定を行い、有機トレーサーとしての有用性を検証する必要があると考えられる。

濃尾平野の港湾部，内陸部における有機トレーサー成分の特別測定 ー冬季の PM_{2.5} 高濃度事例についてー

池盛文数，山神真紀子，久恒邦裕，長田和雄¹⁾

¹⁾ 名古屋大学大学院環境学研究科

第 58 回大気環境学会年会（神戸市）2017 年 9 月

【はじめに】

PM_{2.5} の主要成分である有機炭素（OC）は，夏季の光化学反応，秋や冬の農業残渣物の野外焼却など，季節特有の発生源の影響を受けるため，日内や季節変化が大きいと考えられる．OC の発生源解析には，発生源指標となる有機物（有機トレーサー）について気象現象に追従できる特別の解析が有効である．また，都市部と都市郊外部を比較することにより，高濃度現象の広がりについても知見を得られることが期待できる．そこで本研究では，濃尾平野の港湾部（都市部）と内陸部（都市郊外部）において比較的 OC が高濃度であった 2016 年 12 月を対象に，PM_{2.5} 質量濃度自動測定機から得られた特別スポットについて有機トレーサー成分の測定を行い，OC の高濃度化現象について考察を行った．

【方法】

都市部として名古屋市環境科学調査センター（名古屋市南区，以下，名環セ），内陸部として滝高校（江南市，以下，滝高）において，PM_{2.5} の捕集を PM712（紀本電子工業製）により行った．同時に PM_{2.5} 質量濃度と OBC 濃度も測定した．測定対象期間について，2016 年 12 月において 24 時間捕集試料で PM_{2.5} と OC 濃度が比較的高濃度である期間を判別した．その結果，12 月 12 日 11 時～13 日 10 時および（12/12～13），26 日 5 時～27 日 6 時（12/26～27）の特別試料を 2 時間ごとに（各地点，12/12～13：12 試料，12/26～27：15 試料），同様に 12 月 18 日 10 時～12 月 23 日 3 時（12/18～12/23）の特別試料を 3 時間ごとにまとめて（各地点 38 試料）有機トレーサーの測定をおこなった．有機トレーサーはシリル誘導体化 GCMS 法で測定した．

【結果】

植物燃焼の指標である LEV，プラスチック燃焼の指標である tPHA は，滝高における 19 日の tPHA の急激な上昇を除けば，各地点で時間変化が非常に類似していた．この結果より，LEV と tPHA が同じ濃度変動要因に支配されている可能性が考えられる．LEV に注目すると，12/12～13 において名環セ，滝高ともに 1 μg/m³ を超えるなど高濃度であった．また，観測期間における PM_{2.5} に対する LEV の含有率は滝高が高いため，滝高は名環セよりも植物燃焼の影響を強く受けていることが示唆される．高濃度期間別に見ると，12/12～13 および 12/26～27 は 12/18～12/23 よりも，LEV 濃度および PM_{2.5} 含有率の期間平均が両地点とも大きかった．この結果より，12/12～13 および，12/26～27 は，12/18～12/23 よりも植物燃焼からの PM_{2.5} 排出量が大きく，PM_{2.5} の高濃度化に強く寄与したことが示唆される．また，観測期間中に北風が卓越していたこと，PM_{2.5} や LEV などの濃度ピークが南部の名環セで遅れて検出されたことより，濃尾平野北部から南部へと植物燃焼起源の PM_{2.5} 高濃度気塊が流れ込む，つまり郊外部の PM_{2.5} が都市部の PM_{2.5} 高濃度現象に寄与している可能性が考えられる．

捕集ろ紙の違いによる PM_{2.5} 中有機成分の測定値の比較

池盛文数, 山神真紀子, 菅田誠治¹⁾

¹⁾ 国立研究開発法人国立環境研究所

第 58 回大気環境学会年会 (神戸市) 2017 年 9 月

【はじめに】

有機炭素 (OC) は、直接排出される一次粒子や、大気中のガス状物質が化学反応等により二次生成することが知られており、発生源が多岐にわたるため、発生源や動態の解明が難しい。OC の発生源解析のためには、特定の発生源から排出される有機物 (有機トレーサー) を測定することが有効であると考えられ、環境省よりレボグルコサンなどについて石英ろ紙を用いた測定法マニュアルが公開されている。石英ろ紙はガス状の OC ガスを吸着することが報告されているが、ガス状有機物の吸着についてあまり知られていない。そこで本研究では、石英ろ紙と PTFE ろ紙を用いて PM_{2.5} の同期捕集を行い、各ろ紙からの測定値を比較し、有機物のガス吸着について考察した。

【方法】

2016 年 7 月 (夏, n=10), 2017 年 1-2 月 (冬, n=10) に FRM2025i (Thermo) を用いて、石英ろ紙 (Q) と PTFE (P) ろ紙上に PM_{2.5} を 24 時間捕集した。また 2017 年 4 月 (春, n=8) に、Q および P の下に石英ろ紙をおいて二重にし (Q の下の石英ろ紙 (QQ), P の下の石英ろ紙 (PQ)), LV250 (柴田科学), PM_{2.5} を 24 時間捕集した。Q には粒子およびガス, P には粒子のみ, QQ および PQ にはガスのみが吸着していると考えられる。なお捕集には 350°C で 1 時間加熱処理した石英ろ紙を用いた。捕集は名古屋市環境科学調査センター屋上で行った。有機トレーサーの測定は、各ろ紙を半分用いて、シリル誘導体化 GCMS 法で行った。

【結果】

植物燃焼の有機トレーサーであるレボグルコサン (LEV) や、 α -ピネンの分解物として知られている 3-ヒドロキシグルタル酸 (3HGA) は、Q が P より若干高い値を示すものの、比較的よく一致しており、直線関係が確認できた。またレボグルコサンは、夏に Q が P より 1.5 倍高い値を示した。また、コハク酸 (DCA4) は、どの季節も Q が P の 2 倍以上高い値を示したが、ろ紙間で比較的良好な相関がみられた。3HGA と同様に α -ピネンの分解物として知られているピノン酸 (PNOA) は、ろ紙間の測定値に大きな乖離が見られ、乖離の小さい冬で 38 倍、乖離の大きい夏と春で 70 倍以上、Q の測定値が大きかった。また春の観測については、PQ および QQ で上記の 4 成分が検出され、すべての成分で PQ>QQ であった。また PNOA は、QQ の測定値が他の成分よりも大きく、ガス状もしくは捕集中の揮発が多いことが示唆された。詳細にはデニューダーによりガス状有機物の影響を排除して検証しなければならないが、少なくとも PNOA は捕集後に粒子として存在している量が少ないと考えられる。以上の結果より、有機トレーサーを用いた解析は、捕集ろ紙、季節、成分などを考慮して行う必要がある。

夏季，秋季における PM_{2.5} 中の有機トレーサーと ニトロ芳香族炭化水素類の昼夜別観測

池盛文数，中山智喜¹⁾，長谷川 瞳

¹⁾ 名古屋大学宇宙地球環境研究所

第 58 回大気環境学会年会（神戸市）2017 年 9 月

Frontiers of Atmospheric Aerosol Studies : Toward the Understanding of
Their Health and Climatic Effects (Nagoya) 2018.1

【はじめに】有機エアロゾルは様々な有機化合物から構成されるが，その発生源や生成メカニズムが非常に複雑である．近年，特定の発生源から排出，また VOC から二次生成する有機化合物が報告されている．ニトロ化芳香族炭化水素類（NAHCs）の起源として，大気中の二次生成や植物燃焼による排出が報告されている．NAHCs はニトロ基を有することから健康影響が懸念され，また光を吸収することから気候変動の観点でも興味深い化合物である．しかしながら，多くの NAHC について観測例は少なく，環境大気中の実態はよくわかっていない．そこで，本研究では名古屋で夏と秋に昼夜別に捕集した PM_{2.5} について NAHCs の測定を行い，発生源指標となる有機物（有機トレーサー）との関係からその発生源について考察したので報告する．

【方法】PM_{2.5} は，名古屋市環境科学調査センター屋上で HV エアサンプラーに PM_{2.5} 分粒装置（SIBATA）を装着し，流速 700 L/min で石英繊維ろ紙上に捕集した．捕集は 9～18 時，18 時～翌日 9 時に行った．夏の観測期間は 2013 年 7 月 16 日～8 月 1 日（n=34），秋は 2013 年 11 月 5 日～20 日（n=31）である．有機炭素（Organic Carbon: OC），元素炭素（Elemental Carbon: EC）は炭素分析計（Sunset）で，IMPROVE 法により測定し，反射光で補正した．有機成分は，試料に内標準物質を添加後，ジクロロメタンとメタノールの混合溶液（2:1）を加え，超音波抽出した．その後，抽出液の一部を GC/MS 測定用に分取し，窒素吹付で乾固させ，シリル化し GC/MS（Agilent）を用いて発生源指標となる有機トレーサーの測定を行った．残りの抽出液は，別途，窒素吹き付けで乾固し，メタノールに再溶解させ，LC/MS/MS（Waters）で NAHCs を測定した．NAHCs については，試薬として市販されている成分（20 種以上）を対象にし，各成分を定量した．

【結果】今回測定した PM_{2.5} 試料から，13 成分を定量した．検出された NAHCs の中で，カテコールのニトロ化合物である，4-ニトロカテコール（4NC）と 4-メチル-5-ニトロカテコール（4M5NC）は秋が夏より高濃度であり，夏は昼が，秋は夜が高濃度であった．これらは，大気中での二次生成や，バイオマス燃焼の二次生成により生成すると報告されているが，夏はフタル酸（PHA）などの人為起源の二次生成有機トレーサーと，秋はレボグルコサンなどの植物燃焼の有機トレーサーと強く相関していた（ともに $r > 0.85$ ）．秋は夏よりも一桁高濃度であることから，バイオマス燃焼が重要な発生源だと考えられる．続いて，サリチル酸のニトロ化合物（NSAs）である，3-ニトロサリチル酸（3NSA），5-ニトロサリチル酸（5NSA），3,5-ジニトロサリチル酸（35DNSA）は，昼が夜よりも高濃度であった．夏と秋を比較すると，3NSA，5NSA は濃度が大きく変わらないが，35DNSA は 2.7 倍と夏に高い傾向が見られた．続いて，昼夜毎に夏と秋を比較すると，3NSA，5NSA は昼において夏が秋の 1.4 倍と高い傾向が見られた．また 3 成分は，夏に昼夜で大きな濃度変化が見られること，PHA などの人為起源有機トレーサーと相関している（ $r > 0.85$ ）ことから，人為起源 VOC からの二次生成により生成している可能性が示唆される．室内実験においてトルエンの分解物として検出されていることもこの結果を支持している．以上のように，NAHCs は，ベンゼン環に結合する官能基の種類により，その発生メカニズムが大きく異なると考えられる．

食品リサイクル施設からの悪臭苦情事例

大野 隆史, 中島 寛則, 池盛 文数, 久恒 邦裕

第 58 回 大気環境学会年会 (神戸市) 2017 年 9 月

【はじめに】名古屋市内の食品リサイクル施設周辺で、悪臭苦情事例が発生している。この施設では、食品事業者から回収した食品残渣を加熱・乾燥後、冷却・粉碎して肥料としてリサイクルしている。加熱・乾燥及び冷却過程で悪臭が発生するので、この施設の周辺及びガス排出口で、特定悪臭物質の濃度測定及び悪臭官能試験を実施し、悪臭の主たる原因物質を特定したので報告する。

【調査方法】周辺環境調査—当該施設の東約 30 m の地点①と敷地境界付近の地点②で試料採取し、アルデヒド類 6 物質 (アセトアルデヒド : AcCHO, プロピオンアルデヒド : PrCHO, ノルマルブチルアルデヒド : nBtCHO, イソブチルアルデヒド : iBtCHO, ノルマルペンタルアルデヒド : nVtCHO, イソペンタルアルデヒド : iVtCHO) に、ホルムアルデヒド (HCHO) を加えた 7 物質を測定対象とした。

排出ガス調査—ガス排出管上端部にテフロン製試料採取管を鉤状に掛け、試料ガスを間接採取した。上述のアルデヒド類 7 物質に加え、窒素化合物 1 物質 (アンモニア)、硫黄化合物 4 物質 (硫化水素, メチルメルカプタン, 硫化メチル, 二硫化メチル)、脂肪酸類 4 物質 (プロピオン酸, ノルマル酪酸, イソ吉草酸, ノルマル吉草酸) の計 16 物質を測定対象とした。「悪臭物質の測定の方法」(昭和 47 年環境庁告示第 9 号) に準じて測定を行ったが、アルデヒド類の測定では、分離定量はガスクロマトグラフ (GC) ではなく、液体クロマトグラフ (LC) で行った。また「有害大気汚染物質測定方法マニュアル」に定める方法に従って、検出下限値も算出した。

【結果と考察】表 1 に周辺環境調査の結果を示す。有害大気汚染物質監視調査では、HCHO と AcCHO について市内 5 地点で測定を行っており、H28 年度は HCHO が 0.75~6.3 ppb (平均 : 2.6 ppb, n=60)、AcCHO が 0.37~2.3 ppb (平均 : 1.0 ppb, n=60) という濃度レベルであった。当該施設周辺では、HCHO・AcCHO とともに、一般環境年平均値の 5 倍ほど、一般環境年最高値の 2 倍ほどの高濃度であった。また一般環境ではほとんど検出されない PrCHO や BtCHO が 2 検体とも検出されたことから、「焦げ臭」としてのアルデヒド類が排出されている可能性が高いことが示唆された。

表 1 周辺環境アルデヒド類測定結果

悪臭物質	地点①	地点②	検出下限値
HCHO	13.9	12.5	1.1
AcCHO	5.7	4.8	0.37
PrCHO	0.74	0.66	0.30
i/nBtCHO	0.65	ND (0.44)	0.50
iVtCHO	ND	ND	0.10
nVtCHO	ND	ND	0.20

単位 : ppb

表 2 排出ガス中の悪臭物質測定結果及び閾値倍数

悪臭物質群	悪臭物質	濃度		検出下限値	嗅覚閾値	閾値倍数	
窒素化合物	アンモニア	62		0.088	1.5	41	41
硫黄化合物	硫化水素	ND		0.0007	0.00041	0	0
	メチルメルカプタン	ND		0.0007	0.000070	0	
	硫化メチル	ND		0.0005	0.0030	0	
	二硫化メチル	ND		0.0005	0.0020	0	
アルデヒド類	ホルムアルデヒド	0.006	0.003	0.0011	0.50	0	5924
	アセトアルデヒド	2.1	2.0	0.00036	0.0015	1364	
	プロピオンアルデヒド	0.53	0.52	0.00030	0.0010	524	
	イソブチルアルデヒド	0.27	0.32	0.00049	0.00051	584	
	ノルマルブチルアルデヒド						
	イソペンタルアルデヒド	0.25	0.34	0.00010	0.00010	2904	
	ノルマルペンタルアルデヒド	0.16	0.29	0.00020	0.00041	548	
脂肪酸類	プロピオン酸	0.0023		0.00051	0.0057	0	25
	ノルマル酪酸	0.0046		0.00048	0.00019	24	
	イソ吉草酸	ND		0.00042	0.000078	0	
	ノルマル吉草酸	ND		0.00040	0.000037	0	
単位：ppm						総和	5990

表 2 に排出ガス調査の結果及び嗅覚閾値で除して算出した閾値倍数を示す。各悪臭物質についての閾値倍数の総和が臭気濃度に相当する。今回の排出ガスの悪臭に最も寄与していた悪臭物質は、アルデヒド類の中で最も嗅覚閾値の小さい iVtCHO で 48.5% の寄与率、次いで AcCHO で 22.8% の寄与率、その他のアルデヒド類が各々 9~10% ほどの寄与率となり、アルデヒド類を全て合計すると 98.9% の圧倒的な悪臭寄与率となった。アンモニアはかなりの高濃度で検出されたものの、嗅覚閾値が大きい

ため 0.7% ほどの悪臭寄与率に留まった。ノルマル酪酸等についても、比較的高濃度で検出され、嗅覚閾値も小さいものの、アルデヒド類に埋もれる結果となり、0.4% ほどの悪臭寄与率に留まった。別途行われた三点比較式臭袋法による悪臭官能試験では 36 という臭気指数が得られており、今回得られた閾値倍数の総和から臭気指数を算出すると 37.8 となり、両者は比較的良く一致していると言える。

地下水汚染における VOC の嫌氣的脱塩素化の検討

朝日教智，岡村祐里子

第 32 回全国環境研協議会東海・近畿・北陸支部研究会（奈良市）2018 年 1 月

【はじめに】

名古屋市西部を流れる荒子川は、流域に隣接する土壤汚染サイトの地下水の影響を受け、1,2-ジクロロエタンの水質環境基準が依然として未達成となっている。汚染サイトでは、1,2-ジクロロエタンをはじめ多様な VOC（揮発性有機化合物）に汚染された地下水が、河床下の帯水層から底質を抜けて河川に浸出しているとみられ、河川内に設けられた 3 本の観測井で地下水のモニタリングが続いている。

このため、地下水浄化対策は河川の水質改善を図る上で汚染源対策と並んで重要な課題となっており、その浄化方法として生物的处理の適用が検討されてきた。現在、現場に生息する脱塩素化菌による VOC の嫌気分解が最も有力視され、名古屋大学未来材料・システム研究所等と共同で、対策に必要な知見を得るための室内実験や現地実験を行っている。今回は、1,2-ジクロロエタンなどの嫌氣的脱塩素化を検討した結果について報告する。

【結果と考察】

1) 1, 2-ジクロロエタン脱塩素化菌 *Geobacter* 属細菌 AY 株の特性

サイト近傍の底質をバイアル瓶に採取し、1,2-ジクロロエタンを添加した液体培地中で嫌気条件下で植え継ぎを繰り返し、脱塩素化菌の分離を行った。底質の集積物から得られた嫌気脱塩素化菌 *Geobacter* 属細菌 AY 株は、ジクロロ脱離反応により 1,2-ジクロロエタンを直接エチレンに変換できる新種の細菌で、脱塩素化に伴う中間生成物を生じない、100mg/L 以上の 1,2-ジクロロエタンの脱塩素化が可能など、当サイトの汚染に適した特性を有していた。

また、観測井掘削時のボーリング試料の微生物群集解析により、塩素化エチレンの分解を担う *Dehalococcoides* 属や *Dehalobacter* 属などの脱塩素化菌が、現場の底質や砂質土層に存在することが判明し、汚染地下水中の主な VOC は脱塩素化反応で嫌気分解できると考えられた。

2) 地下水浄化実験における VOC の嫌氣的脱塩素化

平成 25～27 年にかけて、河川内に設置した No.3 観測井より河床下の帯水層に、浄化資材（嫌気性微生物活性化剤；バイオエンゼル[®]，pH 調整剤，トレーサー）を注入し、VOC の嫌氣的脱塩素化過程を追跡調査した。注入後、井戸周辺の地下水は浄化資材溶液により押し出されて一旦置換され、その後、周辺外から新たな地下水が再び流入して元の状態に回復すると考えられ、実験中は絶えず流入地下水の影響を受けた。

そこで便宜上、VOC は注入前の濃度を、臭化物イオン（トレーサー物質）は注入直後の濃度を各々の初発濃度とし、注入後濃度との比率の推移を見た。その結果、臭化物イオンの変化を見る限り、注入井周辺外からの地下水流入が始まって元の水質に戻るまで約 200 日要していた。

ベンゼンは脱塩素化反応には関係なくほとんど嫌気分解も受けないことから、流入する地下水の VOC 濃度をそのまま反映し、臭化物イオンと対称的な推移を見せた。このような経過をたどっている VOC には同じ難分解性の 1,1-ジクロロエタンがあった。

一方で、1,2-ジクロロエタンは注入前濃度が 230mg/L と高かったが、約 140 日までは濃度上昇が認められず、脱塩素化が継続していることが推察された。同様の傾向は 1,1,2-トリクロロエタンや、塩素化エチレンであるトリクロロエチレン、cis-1,2-ジクロロエチレンにも認められ、河川の一部に限定した実験ではあるが、生物的处理が現場の帯水層でも機能することが確認された。

信頼できる WET 試験結果を得るための PMSD による検証について

山守英朋, 長谷川絵理, 岡村祐里子

第 52 回 日本水環境学会年会 (札幌市) 2018 年 3 月

1. はじめに

2013 年に生物応答を用いた排水試験法(検討案)¹⁾が提案され,日本版 WET が開始された。この試験法では,試験の成立条件として,陰性対照区におけるふ化率,産仔数,生長速度等がある一定数以上であることとされている。

一方で,USEPA が提示している NPDES(全国汚染物質排出削減制度)許可のための淡水生物を用いる排水の短期慢性毒性試験法²⁾には,試験精度確保のため,PMSD による試験検出力を算出することを義務化しており,一定の数値以下の PMSD となった毒性試験結果のみ受領し,それ以外は再試験を課すという仕組みがある。この仕組みでは,検出力が不十分な試験による無影響判定を排除でき,安全側に寄った措置となっている。

日本版 WET は,規制当局による排水の規制や許可に利用されている訳ではないが,PMSD を算出し比較することで,検出力が十分担保された上での,NOEC 判定には有効となる。そこで,当調査センターが今回発表を行っている「生物応答を用いた名古屋市内事業場排水の実態調査と原因物質の推定」(P-J03)の試験結果について,PMSD による検証を行った。また,2013 年以降実施した WET 試験について検証し,PMSD に関する知見の集積を試みた。

2. 試験方法

1) WET 試験:2013 年に提示された生物応答を用いた排水試験法(検討案)¹⁾に従い,P-J03 の 20 事業場排水試料について実施した。

2) PMSD の算出:得られた試験データを用いて USEPA のマニュアル²⁾に記載されている方法に従って計算した。また,2013 年以降 WET 試験を行ったデータ(最大 130 検体)についても,あわせて PMSD を計算した。

3. 実験結果および考察

1) P-J03 の PMSD および陰性対照区の変動係数(CV_{control})の EPA 基準との比較

表 1 に各事業場の PMSD および陰性対照区の変動係数(CV)についてまとめた。また,USEPA の魚類・甲殻類・藻類試験での許容 PMSD 上限(UpperPMSD)を,それぞれ表 1 に示した。これによると魚類,甲殻類試験で PMSD 上限を超過した試料が認められた(表中のグレー塗りつぶし)。藻類では全ての試料で上限は下回った。

2) 2013 年以降の全 WET 試験の PMSD による評価と他のパラメーターとの比較

PMSD と NOEC や CV_{control} との相関関係を観察した。NOEC とは有意な相関は認められず,CV_{control} とは弱い正の相関が認められた。

また,年度毎や月毎に集計して,その PMSD のばらつきと分布範囲を比較したが,どの生物種においても傾向は認められなかった。

また,USEPA の PMSD 基準を決定した方法を参考に,当センターで得られた PMSD の 10 パーセンタイルと 90 パーセンタイルの範囲を有効な PMSD 値とし評価した場合,魚類では 3.9~24.9,甲殻類では 18.2~46.1,藻類では 3.5~10.1 であり,USEPA の値に比べ,魚類・藻類では良好な値であり,甲殻類ではほぼ同等な値であった。今後は試験精度の確保の観点から,このパラメーターの活用が望まれるとともに,将来的には日本版 WET 試験での認証範囲等の確定のため,試験機関間でのデータの蓄積が望まれる。

参考文献

1)排水(環境水)管理のバイオアッセイ技術検討分科会:生物応答手法を用いた排水試験(検討案)(2013)

2)USEPA:Short-term Methods for Estimating the Chronic Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater Organisms Fourth Edition, EPA-821-R-02-013,(2002)

表 1 P-J03 事業場排水の WET 試験における PMSD および陰性対照区の変動係数

事業場	魚類		甲殻類		藻類	
	PMSD	CVControl	PMSD	CVControl	PMSD	CVControl
A	6.92	0	36.10	21.37	8.76	4.06
B	6.72	0	33.68	35.74	5.99	1.46
C	7.05	5.83	26.05	37.48	6.04	1.85
D	18.73	9.45	14.58	15.38	10.48	0.99
E	8.76	6.37 *	*	*	15.62	0.87
F	9.10	6.90	23.82	26.07	6.00	1.67
G	4.42	4.65	12.03	5.63	4.65	0.96
H	16.39	3.64	11.01	18.08	6.12	2.62
I	16.81	7.68	26.41	40.80	11.26	3.40
J	*	*	27.99	39.62	4.42	1.37
K	*	*	*	*	5.47	2.48
L	10.58	6.72 *	*	*	13.35	1.70
M	29.00	50.12	21.34	26.59	5.69	2.16
N	31.26	13.86	31.48	18.79	6.74	1.50
O	19.42	16.40	45.87	55.49	3.72	0.68
P	12.25	5.99	22.53	15.21	4.73	1.10
Q	8.31	0	31.63	43.48	4.06	1.08
R	9.05	6.72	13.03	29.49	10.12	2.56
S	10.08	3.98	52.60	37.63	4.99	1.69
T	8.66	3.39	29.52	38.45	4.70	1.23
UpperPMSD	30		47		29	

*) under testing

LC/Q-TOF-MS による水環境中汚染化学物質のスクリーニング分析

長谷川 瞳, 平生進吾, 西野貴裕¹⁾

¹⁾ 東京都環境科学研究所

第 26 回環境化学討論会（静岡市）2017 年 6 月

1. はじめに

国内外において、新規に製造・使用される化学物質の種類は年々増加しており、2015 年には米国化学会に 1 億種目の化学物質が登録された。登録数は数分間に 1 種のペースで増加しており、2017 年には約 1 億 3000 種もの化学物質が登録されている。現在、環境中の汚染化学物質の測定方法は、選定した特定の物質のみを測定するターゲット分析が一般的であるが、環境へ放出される化学物質の種類が増え続ける中で、ターゲット分析のみでは実態の把握や環境リスクの評価が追いつくことが出来ない。未把握の環境リスクを評価するためにも、ターゲット分析に加えて、多種の汚染化学物質を一斉に測定する手法が必要であると考えられる。また、この手法は、災害、事故時などの緊急時に、環境中へ放出された多種の汚染化学物質について迅速な対応が求められた際にも活用できると考えられる。そこで本研究では、LC/Q-TOF-MS を用いて環境水中の多種の汚染化学物質を一斉に分析することを目的とし、名古屋市内の水環境試料をスクリーニング分析することで、環境中に存在する多種の汚染化学物質の同定および半定量を行った。

2. 調査対象および分析方法

測定対象物質としたのは、農薬 503 種、医薬品 328 種、PRTR 対象物質 562 種の合計 1393 物質で、それぞれの精密質量数を元にスクリーニング分析を行った。スクリーニング分析の結果、ピーク強度が高かったものについては、標準試薬を用いて、保持時間、フラグメントイオンの情報も得ることにより、同定・定量を行った。測定は waters 社の LC/Q-TOF-MS で、LC が Acquity H class、MS が Xevo G2-S を使用し、ESI ポジティブモードで測定を行った。前処理方法は、ステンレス製バケツを用いて採取した環境水試料 500mL をガラス繊維ろ紙を用いてろ過した。ろ紙はアセトンで超音波抽出をした後、ろ液と合わせ、Oasis HLB および Sep-Pak AC2 で抽出した。通液後、固相カートリッジは精製水にて洗浄し、乾燥後、アセトン 5mL でバックフラッシュ溶出を行った。窒素吹き付けにより乾固直前まで濃縮した後、メタノールに転溶し、1mL に定容し、LC/Q-TOF-MS で測定を行った。

3. 結果および考察

①スクリーニング分析結果について

名古屋市内を流れる堀川の下流部、港新橋にて採水を行った河川水試料について精密質量数を用いてスクリーニング分析を行ったところ、測定質量誤差 5mDa 以下で、農薬 12 種類、医薬品 36 種類、PRTR 対象物質 11 種類が検出された。さらに、リン酸エステルや界面活性剤、酸化防止剤なども検出された。

②名古屋市内河川中の各化学物質の定量結果について

名古屋市内中心部を流れる堀川および新堀川 6 地点において採水を行い、①で検出された医薬品について、強度の高いものから順に 15 種類を選定し、標準試薬を用いて定量した。また、①で非常に高強度で検出されたリン酸エステル類についても、医薬品と同様、標準試薬を用いて定量を行った。

医薬品については、15 種中 12 種類が検出された。最も濃度が高かったのは抗アレルギー薬として使用されている Fexofenadine で濃度範囲は 29.7~160ng/L であった。次いで濃度が高かったのは気管支拡張剤として使用されている Theophylline で 29.8~149ng/L、抗生物質として使用されている Clarithromycin で 18.7~144ng/L であった。リン酸エステル類については 14 種中 7 種類が検出され、数 ng/L~200ng/L の濃度範囲であった。

LC/MS による化学物質分析法の基礎的研究(70)

長谷川 瞳, 平生進吾, 八木正博¹⁾, 葉澤やよい²⁾, 竹峰秀祐³⁾, 内藤宏孝⁴⁾, 鈴木 茂⁵⁾

¹⁾ 神戸市環境保健研究所, ²⁾ 岩手県環境保健研究センター, ³⁾ 埼玉県環境科学国際センター,
⁴⁾ 愛知県環境調査センター, ⁵⁾ 中部大学大学院応用生物科学研究科

第 26 回環境化学討論会 (静岡市) 2017 年 6 月

1. はじめに

GC/MS では測定困難な環境中化学物質について、LC/MS の適用可能性を検討した。本報は、環境省委託化学物質分析法開発 (LC/MS) における検討等で得られた主な知見を取りまとめたものである。

2. 調査対象および分析方法

(1) 水質試料中の *N,N*-ジメチルアルカン-1-アミン=オキシド (アルキル基が直鎖であり、かつ炭素数が 10、12、14、18 のもの) の分析

[概要] *N,N*-ジメチルアルカン-1-アミン=オキシド (アルキル基が直鎖であり、かつ炭素数 10、12、14、18 のもの) は、増泡剤、起泡安定剤、家庭用洗剤、化粧品添加剤などとして使用されている化学物質である。水質試料中に残留するデシルジメチルアミンオキシド (DAO)、ドデシルジメチルアミンオキシド (DDAO)、テトラデシルジメチルアミンオキシド (TDAO)、オクタデシルジメチルアミンオキシド (ODAO) の 4 物質を LC/MS/MS で定量する方法について検討を行った。[方法] 固相ディスクを用いて、水質試料 200mL から *N,N*-ジメチルアルカン-1-アミン=オキシド等を抽出する。脱水後、メタノール 7mL で溶出する。精製水を加えて 10mL 定容し、LC/MS/MS (ESI-Positive) により 4 物質を同時分析する。[ブランクコントロール] DDAO, TDAO, ODAO につ

いてはブランクが検出される。①使用する溶媒②器具洗浄に使用する洗剤③バイアル④ピペッター⑤保護用の手袋。これらの中で特に⑤保護用の手袋については特に大きなブランクが検出されることが多いので注意が必要がある (図 1)。[検出下限値・回収率] DAO, DDAO, TDAO, ODAO の検出下限値は順に 0.309, 0.279, 0.283, 0.337 $\mu\text{g/L}$, 名古屋市内河川水を用いた添加回収試験における回収率は、順に 96.8, 99.0, 101.9, 93.6%であった。

(2) 環境水中のポリカーバメートの分析

[概要] ビス(*N,N*-ジメチルジチオカルバミン酸)*N,N'*-エチレンビス(チオカルバモイルチオ亜鉛) (別名: ポリカー

バメート) は、かつて殺菌剤として使用されてきた農薬の一つである。今回、環境水中に残留するポリカーバメートを LC/MS/MS で定量する方法について検討を行った。[方法] ポリカーバメート自体を直接検出するのではなく、分解後メチル誘導体化して得られるエチレンビスジチオカルバミン (EBDC-2Me) 及びジメチルジチオカルバミン酸メチル (DMDC-Me) を測定することとした。[結果] 2 種のメチル誘導体について、標準液を作成し、モニターイオンの検討や LC 移動相の検討、検量線の作成、IDL の算出などの検討をおこなった。1mM 酢酸アンモニウム水溶液とメタノールを移動相として測定を行った結果、装置による検出下限値 (IDL) は、EBDC-2Me が 0.57 ng/mL、DMDC-Me が 0.75 ng/mL であった。また、検量線については、いずれの物質においても相関係数が 0.995 以上と良好な検量線が得られた。

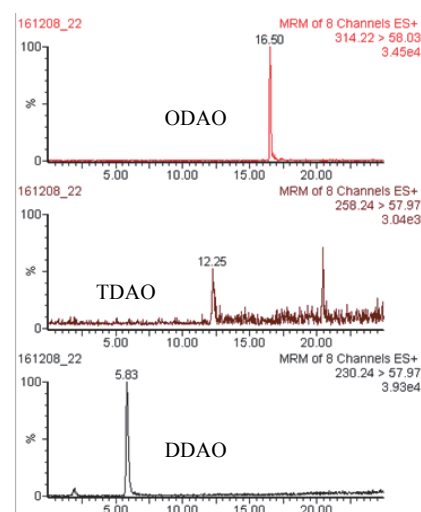


図 1 PP 製手袋から検出されたブランクピーク

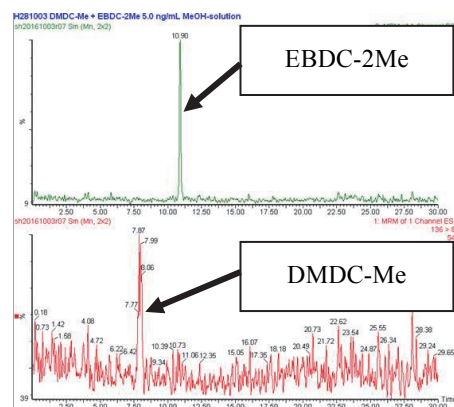


図 2 EBDC-2Me 及び DMDC-Me 標準液のクロマトグラム (5.0ng/mL メタノール溶液)

名古屋市水域におけるネオニコチノイド系農薬類の濃度分布

長谷川 瞳, 平生進吾, 鈴木 茂¹⁾

¹⁾中部大学大学院応用生物学研究科

第 52 回 日本水環境学会年会 (札幌市) 2018 年 3 月

1. はじめに

ネオニコチノイド系農薬は、ニコチンと類似した化学構造を持つ殺虫剤である。有機リン系農薬に替わり、1990 年代以降、日本でも使用量が増えている(図1)。用途は、一般家庭のガーデニング用から農業用など広範囲にわたり、現在、世界 100 カ国以上で販売されている。一方で、ネオニコチノイド系農薬は、世界各国で発生しているミツバチの大量死の主な原因といわれており、EUをはじめとして、アメリカ、カナダ、中国等で、その一部の使用が制限・禁止され始めている。また、近年、野生生物やヒトの脳への影響も懸念され始めている。

現在、日本でネオニコチノイド系農薬として登録されているものは 7 種類あるが、その他に分子構造の類似性から、EU や諸外国では規制対象になっている物質がいくつか存在する。本研究では、それらも含めて、ネオニコチノイド系農薬および類似化合物を一斉に分析する方法を検討し、名古屋市水域で調査を行った。

2. 分析方法

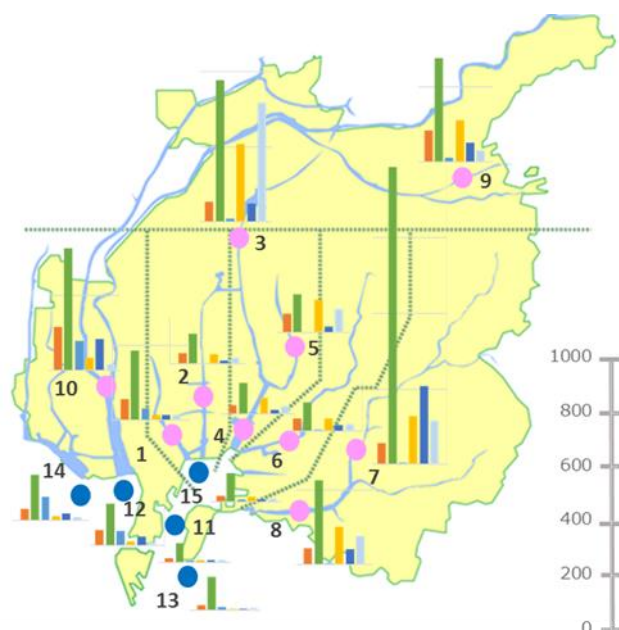
分析対象物質は、ネオニコチノイド系農薬として登録されている 7 種類に加え、同様の影響が懸念されているフィプロニル、エチプロール、フロニカミド、新規のネオニコチノイド系農薬であるスルホキサフロルとした。前処理は 200mL の環境水試料に各種サロゲートを 50ng 添加した後、固相抽出し、5 mL のメタノールで溶出した。溶出液は続いて、活性炭カートリッジに通し、クリーンアップを行った。窒素吹きつけにより濃縮、メタノールにより 1 mL に定容し、LC/MS/MS にて測定を行った。

3. 結果

名古屋市内水環境中のネオニコチノイド系農薬および類似化合物の濃度レベルを名古屋市内の公共用水域の水質常時監視地点 15 地点で測定した。2017 年 1 月～12 月の各地点の測定結果の合計を図に示す。全ての試料からネオニコチノイド系農薬は検出され、名古屋市内の水環境に広く分布していることが示唆された。一方で、新規のネオニコチノイド系農薬であるスルホキサフロルについては全ての地点で不検出であった。名古屋市内においては、都心部と比較して、郊外地域で濃度が高い傾向があり、田畑や庭、公園などで使用したものが環境中へ放出した結果と考えられる。

4. まとめ

全ての測定地点からネオニコチノイド系農薬が検出された。中でも、ジノテフランは高濃度検出例が多いため、フィプロニルはヒトに対する許容摂取量が低いこと、特に注目していく必要があると思われる。名古屋市内では大型の公園・植物園などでもネオニコチノイド系農薬が使用されており、今後も継続して調査していくことが重要であると考えられる。



図：名古屋市水域の調査結果

LC/Q-TOF-MS による都市域河川中有機化学物質の スクリーニング分析

長谷川 瞳¹⁾, 西野貴裕¹⁾, 東條俊樹²⁾, 松村千里³⁾, 宮脇 崇⁴⁾, 門上希和夫⁵⁾

¹⁾ 東京都環境科学研究所, ²⁾ 大阪市環境科学研究センター, ³⁾ 兵庫県環境研究センター,
⁴⁾ 福岡県保健環境研究所, ⁵⁾ 北九州市立大学

第 20 回日本水環境学会シンポジウム (和歌山市) 2017 年 9 月

1. はじめに

国内外において、新規に製造・使用される化学物質の種類は年々増加しており、2015 年には米国化学会に 1 億種目の化学物質が登録された。登録数は数分間に 1 種のペースで増加しており、2017 年には約 1 億 3000 種もの化学物質が登録されている。

現在、環境中の汚染化学物質の測定方法は、選定した特定の物質のみを測定するターゲット分析が一般的であるが、環境へ放出される化学物質の種類が増え続ける中で、ターゲット分析のみでは実態の把握や環境リスクの評価が追いつくことが出来ない。未把握の環境リスクを評価するためにも、ターゲット分析に加えて、多種の汚染化学物質を一斉に測定する手法が必要であると考えられる。また、この手法は、災害、事故時などの緊急時に、環境中へ放出された多種の汚染化学物質について迅速な対応が求められた際にも活用できると考えられる。

そこで本研究では、LC/Q-TOF-MS を用いて環境水中の多種の汚染化学物質を一斉に分析することを目的とし、名古屋市内の水環境試料をスクリーニング分析することで、環境中に存在する多種の汚染化学物質の同定および半定量を行った。さらに、日本における都市域(東京・大阪・兵庫・名古屋・福岡)でのスクリーニング結果を比較したので報告する。

2. 分析方法

測定対象物質としたのは、農薬 503 種、医薬品 328 種、PRTR 対象物質 562 種の合計 1393 物質で、それぞれの精密質量数を元にスクリーニング分析を行った。スクリーニング分析の結果、ピーク強度が高かったものについては、標準試薬を用いて、保持時間、フラグメントイオンの情報も得ることにより、同定・定量を行った。測定は waters 社の LC/Q-TOF-MS で、LC が Acquity H class、MS が Xevo G2-S を使用し、ESI ポジティブモードで測定を行った。前処理方法はステンレス製バケツを用いて採取した環境水試料 500mL をガラス繊維ろ紙を用いてろ過した。ろ紙はアセトンで超音波抽出をした後、ろ液と合わせ、Oasis HLB および Sep-Pak AC2 で抽出した。通液後、固相カートリッジは精製水にて洗浄し、乾燥後、アセトン 5mL でバックフラッシュ溶出を行った。窒素吹き付けにより乾固直前まで濃縮した後、メタノールに転溶し、1mL に定容し、LC/Q-TOF-MS で測定を行った。

3. 結果

日本の都市域において、下水等の影響を受ける河川の下流域で採水を行い、同様の前処理をし、測定を行った。各都市の採水地点は以下の通り。東京都(中川 平井小橋) 大阪市(淀川 城北大橋) 兵庫県(加古川 加古川橋) 名古屋市(堀川 紀左衛門橋) 福岡県(多々良川 名島橋)。LC/Q-TOF-MS でのアバンダンス最大値が 1 万以上のものを解析の対象とした。名古屋市内河川をスクリーニング分析した際と同様、医薬品の検出が多く、Fexofenadine や Telmisartan, Crotamiton などのアバンダンスが高かった。このうち、Clarithromycin に関しては、PNEC を超える地点もあり、継続的な調査が必要であると考えられる。一方で、有機合成原料など工業用途の物質に関しては、東京や兵庫からのアバンダンスが高めに出ていた。

本研究は環境省環境研究総合推進費(課題番号 5-1602: サブテーマ④LC/QTOF-MS による環境汚染物質のスクリーニング, 包括的分析技術の開発)により行った。

LC/Q-TOF-MS による環境水中有機化学物質のスクリーニング分析

長谷川 瞳

平成 29 年度環境科学セミナー（東京都墨田区）2018 年 1 月

1. はじめに

国内外において、新規に製造・使用される化学物質の種類は年々増加しており、2015 年には米国化学会に 1 億種目の化学物質が登録された。登録数は数分間に 1 種のペースで増加しており、2017 年には約 1 億 3000 種もの化学物質が登録されている。現在、環境中の汚染化学物質の測定方法は、ターゲット分析が一般的であるが、環境へ放出される化学物質の種類が増え続ける中で、ターゲット分析のみでは実態の把握や環境リスクの評価が追いつくことが出来ない。未把握の環境リスクを評価するためにも、ターゲット分析に加えて、多種の汚染化学物質を一斉に測定する手法が必要であると考えられる。また、この手法は、災害、事故時などの緊急時に、環境中へ放出された多種の汚染化学物質について迅速な対応が求められた際にも活用できると考えられる。

そこで、LC/Q-TOF-MS を用いて環境水中の汚染化学物質を一斉にスクリーニング分析することを目的とし、分析法の検討などを行った。環境試料をスクリーニング分析し、環境中に存在する多種の汚染化学物質の同定および半定量を行ったので、その結果について報告する。

2. 分析方法

測定対象物質としたのは、農薬 503 種、医薬品 328 種、PRTR 対象物質 562 種で、それぞれの精密質量数を元にスクリーニング分析を行った。スクリーニング分析の結果、ピーク強度が高かったものについては、標準試薬を用いて、保持時間、フラグメントイオンの情報も得ることにより、同定・定量を行った。試料の前処理方法は図 1 に示した。

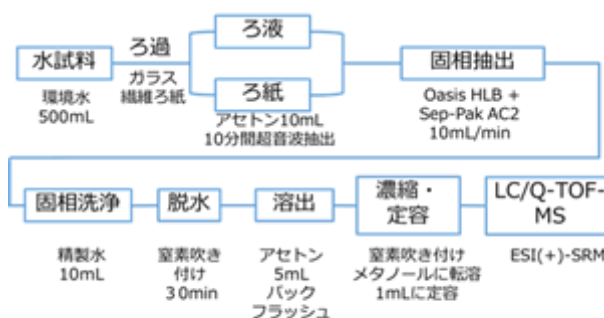


図 1 前処理方法のフローチャート

3. 結果

①スクリーニング分析結果について

名古屋市中心部を流れる都市河川の最下流部の橋にて採水を行った河川水試料について、精密質量数を用いてスクリーニング分析を行ったところ、測定質量誤差 5mDa 以下で、農薬 12 種類、医薬品 36 種類、PRTR 対象物質 11 種類が検出された。さらに、リン酸エステルや界面活性剤、酸化防止剤なども検出された。

②名古屋市内河川中の各化学物質の定量結果について

①で検出された医薬品について、強度の高いものから順に 15 種類を選定し、標準試薬を用いて定量を行った。名古屋市内河川 6 地点の水試料を用いて定量を行ったところ、最も濃度が高かった物質は抗アレルギー薬として使用されている Fexofenadine で濃度範囲は 29.7~160ng/L であった。次いで濃度が高かったのは気管支拡張剤として使用されている Theophylline で 29.8~149ng/L、抗生物質として使用されている Clarithromycin で 18.7~144ng/L であった。

本研究は環境省環境研究総合推進費（課題番号 5-1602：多種・新規化学物質の網羅的モニタリングと地域ネットワークを活用した統合的評価・管理手法の開発）により行った。

名古屋市河川・海域中のベンゾイミダゾール系及び

尿素系農薬の近年の動向について

平生進吾，長谷川 瞳

第 63 回名古屋市公衆衛生研究発表会（名古屋市）2017 年 5 月

平成 29 年度愛知県公衆衛生研究会（愛知県東浦町）2017 年 12 月

1. はじめに

現在、病気の予防や除虫・除草など農業の効率化を目的として広く種々の農薬が使用されている。一方で、農薬の不適正な使用があった場合、農薬による生態系への影響が懸念され、特にチウラムやシマジンなどの農薬に環境基準が設けられている。しかしながら、これら以外の基準が設けられていない農薬の場合、環境監視が十分になされていないため、生態系への影響は不明である。環境省では、毎年化学物質環境実態調査を実施し、農薬類や化成品などの化学物質全般の環境調査を行なっている。その中で、平成 24 年度の調査において、ベンゾイミダゾール系農薬であるカルベンダジムがほぼ全国で観測されたことが明らかとなった。カルベンダジムは、土壌における半減期が 6～12 ヶ月と分解しにくく、さらに土壌等に吸着されやすいため、環境中への残留性が高いと考えられる。加えて、カルベンダジムは、現在農薬として失効されているにもかかわらず、他の農薬であるベノミルやチオファネートメチルなどが加水分解することで生成することが知られており、現在でも環境中に継続的に放出されていると思われる。また、イソウロン、ジウロン及びダイムロンなどの尿素系農薬も、環境中における半減期が 500 日以上と長期に亘って影響を及ぼすと考えられる。特に、ジウロンは、催奇性や発がん性は認められていないものの刺激性は確認されており、サンゴの白化現象の原因と指摘されている。

そこで、本研究では、カルベンダジム、イソウロン、ジウロン及びダイムロンの 4 種の農薬について、名古屋市内の河川及び海域の水質環境調査を行い、近年の動向について明らかにした。

2. 調査対象および分析方法

〔水質試料〕2013～2014 年度の 2 年間にわたって河川 10 地点と海域 5 地点の計 15 地点で採取した。〔抽出〕水質試料から農薬成分を抽出するために固相抽出を行なった。サロゲート（カルベンダジム-d3 及びジウロン-d6）を添加後、アクアトレース ASPE-799 を用いて、メタノールで溶出した。〔LC/MS/MS 測定〕メタノール溶液を LC/MS/MS に導入して定量を行なった。

3. 結果と考察（HAP 法と MAP 法の比較）

図 1 に 2014 年 5 月及び 6 月に採取した水質試料中のカルベンダジム濃度を示す。すべての地点で検出された。

図 1 から、5 月では⑩新川日の出橋において最も高い濃度を示した。これは、名古屋市北西部は田園地帯が広がっており、そこを流れる新川に流入し、他の地域より高濃度になったと考えられる。一方、6 月には、その濃度が大きく減少した。これは、農薬の散布時期ではないことが推察された。

このような農薬の時期の違いによる濃度の増減の動向については、ジウロンなどの尿素系農薬にも見られた。さらに、その動向は、農薬が散布される時期と概ね一致していることもわかった。

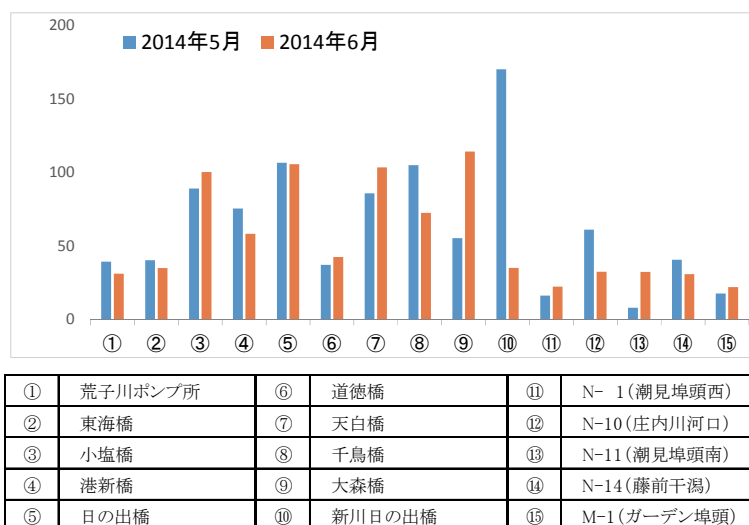


図 1 2014 年 5 月及び 6 月における環境水中のカルベンダジムの濃度

下水汚泥処理排水からのリン回収技術に関する基礎的研究

平生進吾

平成 29 年度全国環境研協議会廃棄物資源循環学会年会併設研究発表会

(東京都目黒区) 2017 年 9 月

1. はじめに

世界におけるリンの最大の需要は、肥料としてあり、約 90%が肥料の原材料として使用されており、現在の日本では、リン鉱石がほとんど産出されていないため、ほぼ 100%輸入に依存している。一方で、肥料が消費されずに湖沼や海域などの水環境中に放流されるリン(畑等からの面源負荷)以上に、下水処理などの生活系排水(生活系排水点源負荷)も大きな問題となっている。一般に、環境中に放流されたリンや窒素により、水環境は富栄養化する。これらのリンや窒素を栄養分として、植物プランクトンが急激に増殖し、それを捕食する動物プランクトンも増殖することで、水環境は赤潮やアオコが発生します。異常なプランクトンの増殖により、水中の酸素は消費し尽くされ、酸欠状態となって魚介類が死に至るといわれている。現在、我が国において、水環境の保全を目的として、湖沼及び海域でリンが水質汚濁に係る環境基準として設定されており、その基準を達成するために、排出規制の対象となっている。また、プランクトンの著しい増殖をもたらすおそれがある湖沼や海域などに排出される下水処理施設などの事業所等からの排水水について、リン含有量の上限が決められている(16mg/L、日間平均 8mg/L)。こうした中で、下水処理施設からの下水汚泥や排水などからリンを回収する試みが各地で行われている。そこで、当センターにおいてもリン回収により廃棄物の減容化・資源化を実現するとともに汚泥処理場からの排水水のリン濃度を減少させることで環境の富栄養化を防止することを目的として、下水汚泥の処理工程において発生する処理水から高効率のリンの回収を試みたので、その結果を報告する。

2. 調査対象および分析方法

一般に、リンの回収技術として、ヒドロキシアパタイト法(HAP法)及びリン酸マグネシウムアンモニウム法(MAP法)の2種があり、それぞれの手法の最適な水質(pHやアンモニア性窒素の濃度など)が異なっている。HAP法は、カルシウム源を供給することでヒドロキシアパタイト($\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$)を生成させてリンを回収する。一方、MAP法は、マグネシウム源を供給することでリン酸マグネシウムアンモニウム(MgNH_4PO_4)を生成させてリンを回収する。今回、2種の手法について、比較検討を行った。また、種々の汚泥処理水の中から実験に供する試料水として、回収の効率を考慮して比較的浮遊物質量が少なく、比較的リン濃度が高い箇所からの処理水を選定した。

3. 結果と考察(HAP法とMAP法の比較)

名古屋市内にある山崎汚泥処理場からの処理水を対象として、HAP法及びMAP法を用いて、水中のリン濃度の変動を調べた。図1に結果を示す。図1から、HAP法により水中から90%以上のリンを除去し、ヒドロキシアパタイトとして析出させることができた。また、HAP法の実験により析出した固形物を図3に示す。析出した固形物を塩素酸に再溶解させて分析を行ったところ、リンが高濃度に検出されたため、この固形物はおそらくヒドロキシアパタイトであろうと推察された。一方、MAP法では、効率的なリンの回収が困難であることが示唆された。原因として、水中に溶解しているイオン類や金属類などの影響が考えられる。

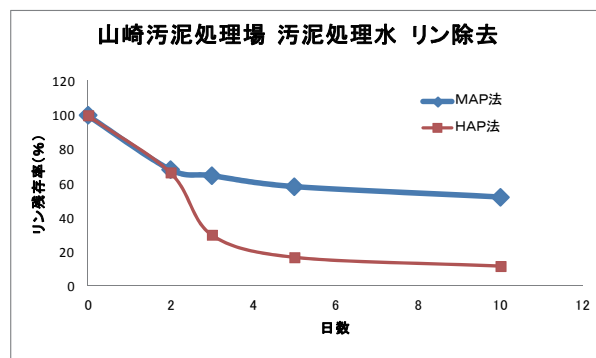


図1 山崎汚泥処理場 汚泥処理水のMAP法及びHAP法によるリンの残存率(100% = 7.93 mg/L)

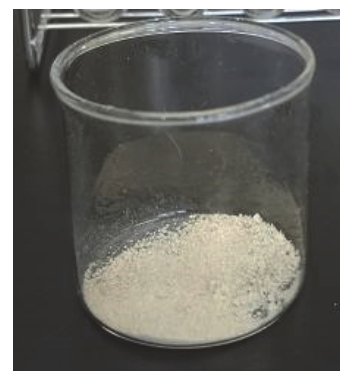


図2 回収した固形物

生物応答を用いた名古屋市内事業場排水の実態調査と 原因物質の推定

長谷川絵理，山守英朋，岡村祐里子，大畑史江，長谷川 瞳

第 52 回 日本水環境学会年会（札幌市）2018 年 3 月

1. はじめに

現在，環境水に排出される事業場排水の評価手法として，3 種の水生生物応答を用いた排水試験法が注目されている．日本でも環境省において，試験手法が検討されており，2013 年に「生物応答を用いた排水(環境水)試験方法検討案」が提案された．当センターでも 2010 年度から試験検討を行ってきた．今回，この手法を用いて，名古屋市内の事業場排水について実態調査を行った．また，影響が認められた排水について，原因物質の推定を行った．

2. 試験方法

1) 試験水

名古屋市内の A～T の 20 事業場排水を用いて試験を行った．

2) 試験方法

生物応答を用いた排水(環境水)試験法¹⁾に基づき試験を行った．試験濃度区は，最高濃度を 80%濃度区とし，公比 2 で希釈していき，LOEC(最小影響濃度)，NOEC（最大無影響濃度）を算出した．さらに，試料の NOEC を毒性単位 TU(Toxicity Unit)に換算した．また，併せて重金属分析も行った．

3. 結果と考察

試験結果を図 1 に示す．

排水 A,B,G,K,N,O,S,T では，3 種の生物の TU はいずれも 10 以下であり，生物影響は認められなかった．

TU が 10 以上であったのは，排水 C,D,E,F,H,I,J,LM,P,Q,R であり，排水 C,D,E,H,Q,R では，TU が 80 以上の特に強い毒性影響が認められた．

20 地点の排水の試験を行った結果，TU10 以上の排水は 60%であり，生物種別では，魚類では 5%，甲殻類では 45%，藻類では 25%で

あった．今回行った試験より，排水の感受性は魚類<藻類<甲殻類であった．

今回試験に供試した排水は，約半数がトイレや手洗い水がほとんどを占める浄化槽処理の排水であったため，重金属類を主なターゲットとした影響因子解析を行っても，高い相関は得られなかった．

浄化槽排水と工業排水に区別して，影響因子解析を行ったところ，魚類試験では浄化槽排水において電気伝導度で相関が得られた．甲殻類試験では，工業排水において，ニッケル，バリウム，電気伝導度，浄化槽排水では海水に係る項目で相関を得られた．藻類試験では，工業排水においてニッケルで高い相関が得られた．浄化槽排水ではバナジウム，クロム等 5 物質で相関が得られた．

参考文献

1) 排水(環境水)管理のバイオアッセイ技術検討分科会「生物応答を用いた排水試験法」

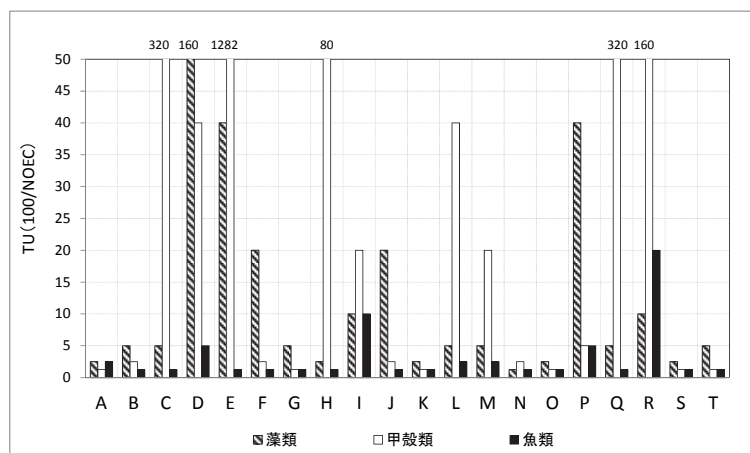


図 1 20 事業場の試験結果