

下水処理場における PAHs の挙動と物質収支に関する研究

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○高村 斎弘

学生会員 小島 啓輔

正会員 金田 一智規

正会員 尾崎 則篤

1.はじめに

多環芳香族炭化水素類(PAHs)はおもに化石燃料の燃焼過程により生成する汚染物質群である。PAHs は家庭暖房や自動車排ガスなど様々な発生源を有しており、環境中に広く存在している。Benzo(a)pyrene など発がん性や変異原性を有するものも多く、生態への影響も懸念されている。PAHs に関する調査は大気中への発生源や大気・水環境中での動態について広く行われている。その中であって下水道に関する調査はあまり行われていないのが現状である。諸外国での調査例はいくつかあるものの、結果は地域特性を反映しているためか様々である。よって PAHs の挙動を知るためには対象地域での調査が重要であると考えられる。本研究では実下水処理場内の流入から流出に至る各ステップにおける PAHs 濃度を調査し、その結果を基に下水処理場内での PAHs の挙動を把握すること、物質収支に関する考察を行うこと、負荷量の推定を行うことを目的とした。

2.調査方法

サンプリングは下水処理場において、2005 年 10 月から 12 月まで毎月 1 度行った。2005 年 10 月には週間サンプリング(月～金)を行った。なおこの処理場では最初沈殿池を稼働させず、そのまま反応槽へ流入させている。サンプリング地点として流入水をはじめとする処理場内の 7 地点を選定した(図 1)。好気槽は反応槽(全 7 槽、第 1 槽は嫌気槽、その他は好気槽)の最終槽を対象とした。サンプリング量は脱水汚泥 10 g、放流水 2 L、その他 1 L 程度とした。また、処理場の諸元を表 1 に示す。採取したサンプルはガラス繊維ろ紙(Whatman GF/F 孔径 0.7 μm)を用いて減圧ろ過を行い、懸濁態と溶解態とに分離した後、懸濁態は超音波抽出、溶解態は固相抽出を行った。抽出液は窒素ガスで濃縮後、ガスクロマトグラフ質量分析計(Gas Chromatograph/Mass Spectrometer; GC/MS: GC-17A/MS-QP5050、島津製作所製)を用いて分析を行った。分析対象とした PAHs は 3~6 環の 16 物質とした(物質名は図 2 参照)。

3.調査結果

3.1 PAHs 濃度と除去率

本研究で行った週間、月間サンプリングともに特異的な傾向は得られなかった。そこで、本報では原則的に全平均値で結果を示す。図 2 に流入水と放流水の PAHs 濃度および除去率を示す。下水中の PAHs 濃度は 16PAHs の合計値で流入水($n=17$)90、好気槽($n=17$)189、返送汚泥($n=13$)632、脱水上澄み($n=12$)153、放流水($n=7$)24 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 、脱水汚泥($n=12$)95 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ であった。PAHs 濃度が最も高かったのは返送汚泥、最も低

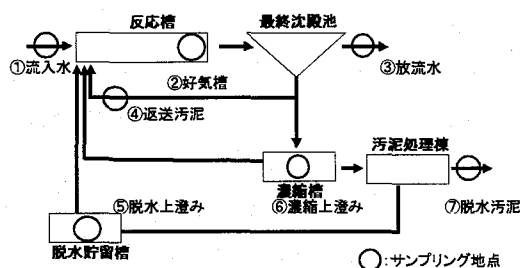


図1 処理場のフローとサンプリング地点

表1 処理場の諸元

処理面積	10.78 km^2
処理人口	36,814 人
日最大汚水量	22,000 m^3
処理方式	標準活性汚泥法
下水の排除方式	分流式
(平成14年度現在)	

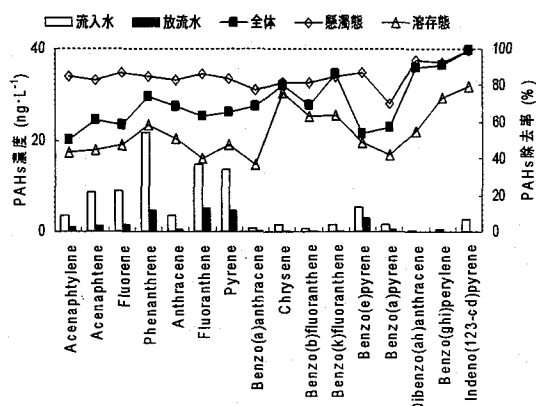


図2 流入水、放流水の PAHs 濃度および除去率

かったのは放流水であった。PAHs 除去率は放流水濃度/流入水濃度により求めた。除去率は 3~93(平均 70)%であった。(懸濁態:70~100(平均 85)%、溶存態:37~80(平均 54)%)。また、低分子の物質よりも高分子の物質のほうが高効率で除去されていた(図 2)。一方、SS 除去率は 82~95(平均 92)%であった。これらのことから、下水中の PAHs の多くは SS に付着した状態で存在し、SS の除去に伴って PAHs が除去されることが考えられる。

3.2 物質収支

物質収支は、PAHs 濃度と処理場の流量データ(平成 14 年度)を用いて各地点の 1 日当たりの PAHs 量を推定し、評価を行った(図 3)。処理場への流入量は平均で $1854 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ であった。一方、処理場からの流出量は $370 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ であった。

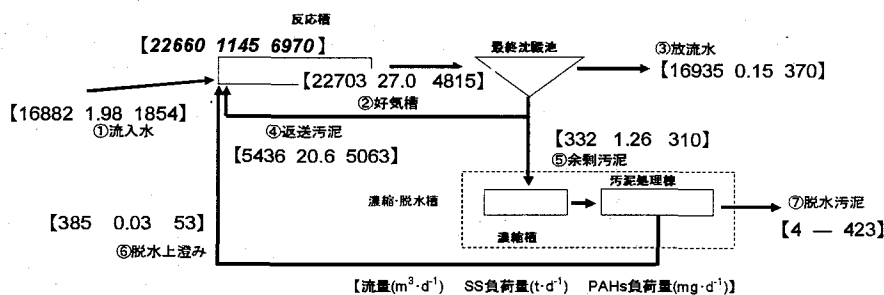


図 3 各地点の流量、SS 負荷量、PAHs 負荷量

また、流出量と脱水汚泥量($423 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$)との合計値である処理場全体からの系外排出量は $793 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ である。これより処理場内で PAHs 量は 6 割程度($1061 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$)除去されていることがわかる。この流入から流出に至るまでの PAHs の減少には、反応槽での反応が関係していると考えられる。そこで反応槽について見てみると、反応槽への流量は流入水、返送汚泥、脱水上澄みの合計値で $6970 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ であった。一方、反応槽からの流出量は $4815 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ であった。すなわち、反応槽での PAHs 除去量は 3 割程度($2155 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$)であり、これらは生物分解や揮発によるものであると考えられる。除去率としてみると明らかに系全体の除去率よりも低いことになるが、汚泥は系全体を数回循環しており、その過程で分解や揮発を繰り返し行う結果として、系全体としては高い除去率が得られていると考えられる。

3.3 負荷量の推定

処理場への流入負荷量および系外排出負荷量を処理人口(36814 人、平成 14 年現在)で除すことにより、1 人 1 日当たりの流入、系外排出負荷量を推定した。ここでは系外排出負荷量は、処理場から流出する放流水と脱水汚泥の合計値とした。その結果、流入、系外排出負荷量はそれぞれ 50.4 、 21.6 (放流負荷量: 10.1 、脱水汚泥負荷量: 11.5) $\mu\text{g} \cdot \text{person}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ と推定された。尾崎ら¹⁾は広島県内の大都市部を含む 4 処理場を対象に同様の調査を行い、流入、流出負荷量をそれぞれ 344 、 $40 \mu\text{g} \cdot \text{person}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ と推定している。両者の流入負荷量には差が見られるが、これは地域の特性を反映した結果であると考えられる。このことを考慮すれば、本研究で得られた結果は尾崎らの結果と同程度であると考えられる。

また、大気降下負荷量と比較するため、単位面積当たりの負荷量の推定を行った。単位面積当たりの負荷量は、1 人 1 日当たりの負荷量と処理区域の人口密度($3415 \text{ person} \cdot \text{km}^{-2}$ 、平成 14 年度推定値)との積により求めた。その結果、流入、流出負荷量はそれぞれ 0.17 、 0.07 (放流負荷量: 0.03 、脱水汚泥負荷量: 0.04) $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ となった。一方、大気降下負荷量は尾崎ら²⁾が広島県内の郊外部で行った調査によると、 80 (湿性 28 、乾性 52) $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{year}^{-1}$ と推定されている。これを 1 日当たりに換算すると、 $0.22 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ である。このことから、PAHs の流出源として下水処理場の寄与は、大気経由と比較しても無視しがたく、水環境中に影響を及ぼしていると考えられる。

4. 今後の課題

本研究の調査結果は 2005 年 10 月から 12 月の 3 ヶ月間という短い期間で得られたものである。よって、年変動など長期的な動態の把握は未だ不十分である。今後はそれらについて把握していくことが重要であると考えられる。また、PAHs の処理場への流入負荷の原因は不明であり、それを明らかにすることも重要であると考えられる。

1)尾崎則篤ら：都市下水流入および放流水に含まれる PAHs の負荷に関する調査、第 60 回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM)、2005

2)N. Ozaki et al.: Proceeding of 8th International conference on Diffuse/Nonpoint Pollution, A145, 2004