

市街地におけるビスフェノールA及びベンゾ(a)ピレンの流出実態に関する調査

田本 典秀¹・吉田 敏章²

¹正会員 工修 国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水道研究室 研究官
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

E-mail: tamoto-n92ta@nilim.go.jp

²工修 国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水道研究室 研究官 (同上)

E-mail: yosida-t92e5@nilim.go.jp

市街地ノンポイント負荷に含まれる内分泌かく乱化学物質等の微量化学物質に関しては、その水質や流出特性など、雨天時の流出挙動が十分に把握されていない状況にある。本調査では、分流式下水道の排水区3箇所の流末にて採水調査を行い、ビスフェノールA (BPA) とベンゾ(a)ピレン (B(a)P) に関して、雨天時流出の実態について調べた。この結果、1降雨あたり平均水質で評価すると、ベンゾ(a)ピレンは、すべての排水区から放流先の生態系に有害な影響を及ぼしうる濃度で流出していたことが確認された。1降雨あたり流出負荷量は、2物質とも排水区により大きな差が見られ、土地利用や道路交通量などが影響している可能性が示唆された。また、流出パターンを調べたところ、BPA、B(a)Pともにファーストフラッシュが確認され、特にBPAは降雨初期の段階に高濃度の流出が生じる傾向にあった。

Key Words : rainfall, nonpoint source, bisphenol A, benzo (a) pyrene, runoff characteristics, separated sewer system

1. はじめに

分流式下水道が整備された市街地では、路面排水などのノンポイント汚濁負荷を含む雨天時流出水が、ほとんどの場合、雨水管を介して未処理のまま公共用水域へ放流されているのが現状であり、公共用水域の汚濁防止の観点から、ノンポイント汚濁負荷への有効な対策が望まれる。この雨天時流出水の中には、従来から関心の高かった有機物や栄養塩類といった汚濁物質のほか、重金属や内分泌かく乱化学物質などの化学物質が含まれていることが確認されており^{1,2)}、放流先下流に生息する水生生物や水道水源への悪影響が懸念される。

このような状況の中で、健全な水循環を守り、公共用水域の環境保全を達成するためには、発生源対策と併せて、これら物質が市街地から下水道を流下し放流される間に、適切な対策を施すことも必要である。特に初期雨水を制御することは効果的な対策となり得る。この際、どの程度の負荷量が流出しているのか、どのような流出のパターンを示すのか、といった基礎的な情報が不可欠であるが、現時点では市街地における調査事例が決して多くないために、微量化学物質の流出現象については十分な実態把握がなされていない状況にある。

そこで著者らは、内分泌かく乱化学物質として生体への影響が懸念されている物質の中で、ビスフェノールA (BPA) とベンゾ(a)ピレン (B(a)P) を取り上げ、これら2物質の市街地からの雨天時流出の実態を明らかにする目的で雨天時採水調査を実施した。特に、流出雨水の汚濁レベルを把握するため、1降雨あたりの平均水質と流出負荷量を算出した。また、流出特性についても、解析を行った。なお、BPAとB(a)Pはそれぞれ、主に樹脂の原料などとして用いられる物質、燃料やたばこが燃焼する際などに非意図的に生成される物質であり³⁾、市街地からの雨天時流出が期待できると判断した。本稿では、平成16年度に実施した調査の結果について報告する。

2. 調査方法

(1) 調査対象排水区の概要

今回調査対象として選んだのは、同じ県内にある分流式下水道が整備された市街地 3 排水区 (A～C排水区) である。調査排水区の概要を表-1 に示す。3排水区間の直線距離は最大でも10数kmである。A排水区は、中高層住宅と商業地が混在し幹線道路が走る中心市街地、

表-1 調査対象排水区の概要

	A排水区	B排水区	C排水区
面積 (ha)	95	18	67
不浸透面積率 (%)	69	67	61
土地利用	中高層住宅 商業地	住宅地	住宅地
国道等の幹線道路	含む	含む	含まず

B排水区は、幹線道路とそれに沿って立地する商業施設を含む住宅地、C排水区は閑静な住宅団地である。調査排水区の選定にあたっては、山林や農地を極力含まない純粋な市街地であることを第一の条件として考慮した。また、吐き口において河川等による背水の影響がないこと、ある程度（概ね10ha）以上の面積を有することなども選定条件とした。不浸透面積の算出にあたっては、土地利用ごとに設定された屋根、道路、浸透域の割合⁹⁾を、国土地理院発行の細密数値情報（2000年調査）を基に集計した各土地利用の面積に乗じて算出した。この結果、3排水区は互いに同程度（60%台）の不浸透面積率を有していることが分かった。

(2) 現地調査及び水質分析

調査は同一の降雨に対し、調査対象3排水区の雨水吐き口付近において同時に行い、合計2降雨イベントについて試料を採取した。調査時の降雨の概要を表-2に示す。第1回調査での総降雨量14.5mm～15.0mm、第2回調査での総降雨量は排水区により若干差が見られたが、6mm～9mmであった。なお、先行無降雨日数に関しては、総降雨量が1mm以下の小雨を除いた上で数えた。

試料は人力により1降雨1箇所あたり20検体ずつ採取

した。採水の間隔については、ファーストフラッシュを捕捉するため、降雨初期は5分間隔とし、その後適宜10分から1時間程度に間隔を広げた。水質分析の対象としたのは、SS、BPA及びB(a)Pである。水質分析の方法はそれぞれ下水試験方法⁹⁾に従った。

また、流出特性の把握や汚濁負荷量の算出のため、降雨量および採水地点を通過する流量についても同時に計測を実施した。降雨量については、転倒ます型の自記雨量計（0.5mm）を採水地点の近傍に設置して5分間隔で計測し、流量については、各採水地点において予め求めた水位流量曲線と、各採水地点に設置した水位計により得られた水位データ（計測間隔：5分）から算出した。

3. 1降雨あたり平均水質及び流出負荷量

(1) 1降雨あたり平均水質

表-3に、各降雨イベントにおける、SS、BPA、B(a)Pの1降雨あたり平均水質（EMC: Event Mean Concentration）を示す。また、比較のため、環境省が全国の公共用水域（淡水）で行った内分泌かく乱化学物質に関する調査データ³⁾より、計測されたBPAとB(a)Pの平均濃度を併せて示す。

まず、BPAは、各排水区概ね0.1～0.2程度の濃度であったが、B排水区の第2回調査ではかなり高い値を示した。公共用水域での平均濃度と比較すると、今回調査した3排水区のEMCの方がやや低い傾向にあった。

B(a)Pについても、3排水区ともEMCに明確な差はなく、0.01～0.04 $\mu\text{g/l}$ 程度であった。公共用水域での平均水質は

表-2 調査対象降雨の概要

	第1回調査			第2回調査		
	先行無降雨 日数 (日)	総降雨量 (mm)	時間最大 降雨量 (mm/hr)	先行無降雨 日数 (日)	総降雨量 (mm)	時間最大 降雨量 (mm/hr)
A排水区	7	14	2.5	10	6	2.5
B排水区		15	3.5		9.5	2.5
C排水区		14.5	3		8	2.5

表-3 1降雨あたり平均水質（EMC）及び公共用水域での平均濃度

		A排水区		B排水区		C排水区	
		第1回	第2回	第1回	第2回	第1回	第2回
1降雨あたり平均水質 (EMC)	SS(mg/l)	65.5	85.9	26.7	82.6	31.1	54.1
	BPA($\mu\text{g/l}$)	0.21	0.23	0.111	0.671	0.080	0.164
	B(a)P($\mu\text{g/l}$)	0.007	0.025	0.018	0.041	0.014	0.033
公共用水域での平均濃度 ⁹⁾	BPA($\mu\text{g/l}$)	0.392 (N.D. - 19)					
	B(a)P($\mu\text{g/l}$)	<0.01 (N.D. - N.D.)					

注：環境省調査について、カッコ内は最小値-最大値を示す。BPAは2002～2003年、B(a)Pは2001年の調査結果

表4 1降雨あたり比流出負荷量

	A排水区		B排水区		C排水区	
	第1回	第2回	第1回	第2回	第1回	第2回
SS(kg/ha)	3.68	2.25	0.17	0.48	0.14	0.22
BPA (mg/ha)	12.04	6.05	0.73	3.84	0.35	0.84
B(a)P (mg/ha)	0.42	0.65	0.12	0.23	0.06	0.17

<0.01 (検出下限値0.01 $\mu\text{g/l}$ 未満)であることから、市街地がB(a)Pの大きな排出源になっている可能性がある。

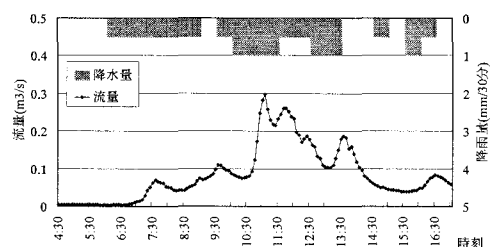
(2) 予測無影響濃度との比較

環境省が行った調査⁹⁾では、生態系に対して有害な影響を及ぼさないと予想される化学物質の濃度として、予測無影響濃度 (PNEC: Predicted No Effect Concentration) が設定されており、BPA、B(a)PのPNECはそれぞれ11 $\mu\text{g/l}$ 、0.005 $\mu\text{g/l}$ と算定されている。このPNECに対して、EMCを本調査の代表的な水質指標として比較を行う。BPAに

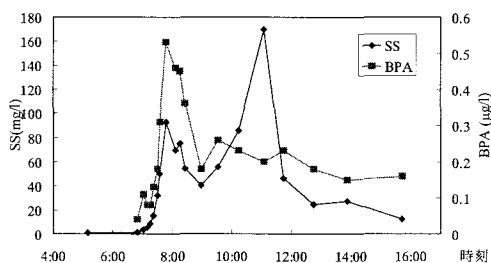
ついては、2オーダー程度EMCの方が小さい結果となった一方で、B(a)Pは、A～C排水区のすべての降雨においてEMCの方が大きかった。EMCとPNECの比 (EMC/PNEC) を算出すると、14～82となる。今回の調査結果は、市街地ノンポイント排水に含まれるB(a)Pが、多くの場合、生態系に無視できない影響を与えている可能性を示唆している。

(3) 1降雨あたり比流出負荷量

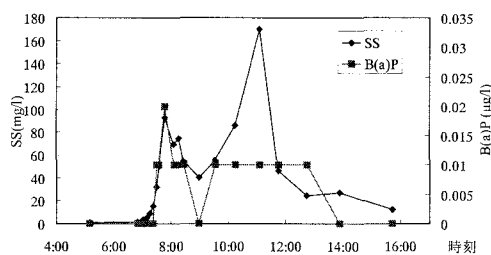
次に、1降雨あたりに各排水区から流出した負荷量を、



(a) 流量, 降雨量

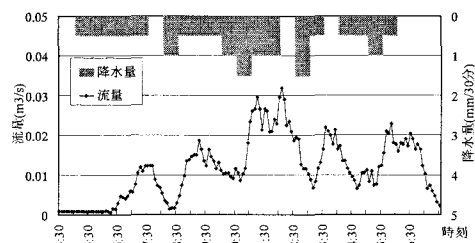


(b) SS, BPA

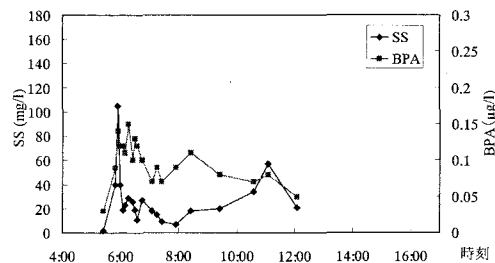


(c) SS, B(a)P

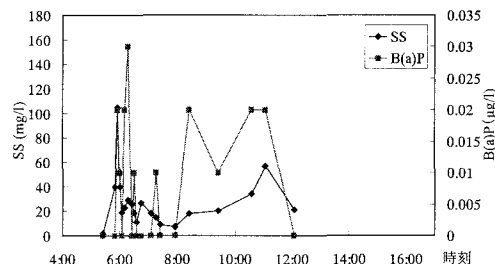
図-1 A排水区の流量, 降雨量, 水質の経時変化
(第1回調査)



(a) 流量, 降雨量



(b) SS, BPA



(c) SS, B(a)P

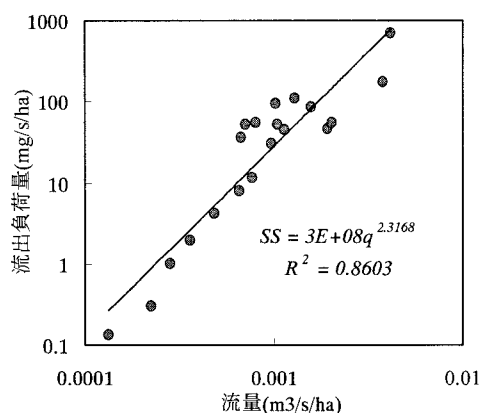
図-2 C排水区の流量, 降雨量, 水質の経時変化
(第1回調査)

排水区面積で除した比流出負荷量を表4に示す。調査を実施した3排水区の間で比較すると、各降雨においてA排水区の比流出負荷量が最も高く、続いてB排水区、C排水区の順に小さくなっている。A排水区の値がB、C排水区よりも高いのは、3排水区ほぼ同程度の不透透面積率を有しながら、A排水区が幹線道路や中高層住宅など、他の排水区に比べ高度な土地利用を有していることが一因と推察されるが、今後様々なデータを集め解析を進める必要がある。

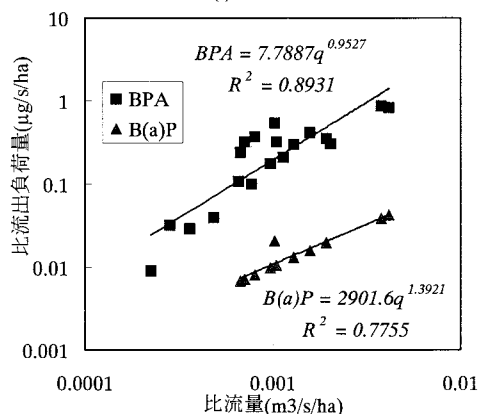
4. 雨天時の流出特性

(1) 雨天時水質の経時変化

図-1, 2 は、代表的な例として、第1回調査時のA, C排水区における降雨量・流量の経時変化と、SS, BPA, B(a)P, それぞれの濃度に関する経時変化を示したものである。



(a) SS



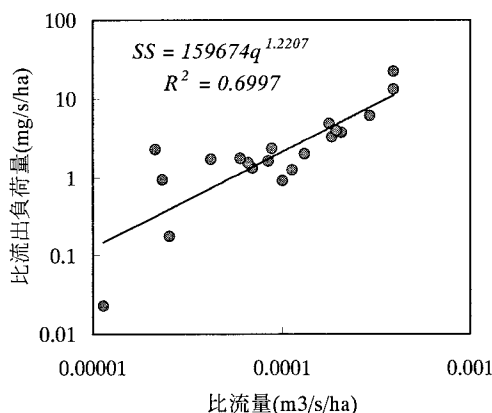
(b) BPA, B(a)P

図-3 A排水区での比流出負荷量と比流量の関係
(第1回調査)

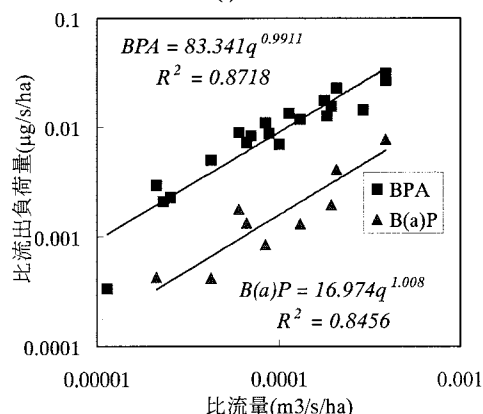
まずA排水区について見てみると、SS濃度は8:00付近のファーストフラッシュ時と、11:00付近の最大流量時の2回極大値を取っており、後者で最大値となっていた。これに対しBPA濃度は、ファーストフラッシュ時に最大となっており、その後はSSと対照的に増加することなく、ゆるやかに下降を続けた。また、B(a)P濃度は、ファーストフラッシュ時に最大となったが、その後はほぼ横ばいであった。

次にC排水区について見ると、SS濃度は、A排水区と同様、ファーストフラッシュ時及び最大流量時に極大となったが、ファーストフラッシュ時に最大の濃度が現れた。BPAはSSと同様、ファーストフラッシュ時にピーク濃度を示した。6:00から8:00のファーストフラッシュ時におけるBPAの濃度波形は概ねSSと類似していたが、最大濃度はSSよりもやや遅れて現れた。B(a)Pについては、ファーストフラッシュ時に最大濃度となったが、BPAと同様、最大値はSSよりもやや遅れて現れた。

以上、A、C排水区の結果を整理すると、まずBPA濃



(a) SS



(b) BPA, B(a)P

図-4 C排水区での比流出負荷量と比流量の関係
(第1回調査)

度に関しては、ファーストフラッシュで最大値を取り、その後は流量やSS濃度の動きと異なり、ほぼ単調に減少した。B(a)P濃度は、ファーストフラッシュで最大濃度を取るのと同様だが、BPAに比べるとSS濃度の波形と類似していた。また、BPA、B(a)Pの最大濃度はSSの最大濃度と同時刻か、やや遅れて現れた。このようなBPA、B(a)P濃度の挙動は、第2回調査においても確認された。

(2) 比流出負荷量と比流量の関係

図-3, 4に、第1回調査時のA、C排水区におけるSS、BPA、B(a)Pの比流出負荷量と、流量を排水区面積で除した比流量の関係を示す。図中、流量と負荷量の間の経験式としてしばしば用いられる、指数関数による回帰曲線も併せて表示した。回帰式のべき乗数に着目すると、A、C排水区とも、SSのべき乗数はBPA、B(a)Pのそれよりも大きく、かつ、A排水区では約2.3、C排水区では約1.2と、排水区により大きく違いが表れた。一方、BPA、B(a)Pのべき乗数は、SSほどの大きな差はなく、両者ともおよそ1前後であった。このような傾向は、第2回調査においても同様に見られた。

5. おわりに

本調査では、分流式下水道が整備された市街地3箇所において、雨天時ノンポイント負荷を、合計2回の降雨に対して実測した。本調査にて得られた結論をまとめると、次のとおりとなる。

- ① EMCで評価すると、BPAについては、公共用水域で観測されたより、やや小さい濃度で流出する傾向にあったが、B(a)Pはすべての排水区において公共用水域よりも濃度レベルは高く、PNECに対しても、これを大きく上回る濃度で流出していたことが確認された。
- ② 今回の調査では、同一の降雨に対しても、排水区

により流出負荷量に大きく差が生じることが確認された。道路交通量や土地利用状況が少なからず影響を与えているものと推察される。

- ③ 水質の経時変化を調べたところ、BPA、B(a)Pともにファーストフラッシュが確認されたが、特にBPAは降雨全体を通じて、降雨初期の段階で最も高濃度となる傾向にあった。
- ④ 負荷量と流量の関係に関して、経験式をフィッティングさせたところ、BPA、B(a)Pとも、概ね流量の1乗に比例していた。

著者らは平成17年度以降も関連調査を継続して行っており、今後はデータを蓄積して、更に詳細な解析を進める予定である。

謝辞：最後に、本調査にご協力いただいている自治体の関係各位に対し、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 和田安彦：非点源負荷における分流式雨水管の流出負荷の考察，水利科学，第138号，139号，1981
- 2) 浅田素之，大垣真一郎：都市域における降雨初期雨水排水中のベンゾ(a)ピレンの挙動，水環境学会誌，Vol.19，No.11，pp.904-909，1996
- 3) 化学物質の環境リスク評価：環境省環境リスク評価室，2003
- 4) 脇岡靖明，古米弘明，市川新：下水道台帳データベースと細密数値情報を利用した分布型モデルによる都市雨水流出解析，下水道協会誌，Vol.38 No.469，pp.78-89，2001
- 5) 日本下水道協会：下水試験方法，1997
- 6) 日本下水道協会：下水試験方法（追補暫定版）内分泌攪乱化学物質及びクリプトスポリジウム編，2002

FIELD SURVEY ON RUNOFF OF BISPHENOL A AND BENZO (a) PYRENE FROM URBAN AREAS

Norihide TAMOTO and Toshiaki YOSHIDA

As pollution load control of non-point sources is increasingly important in watershed management, there exist many researches in this field. However they are not enough to build stable load estimation methods in administrative planning stage, and they need data acquisition of trace chemical substances. In this research, discharges from three stormsewer outlets are sampled and analyzed in two stormwater events. SS (suspended solid) and endocrine disrupting chemicals (Benzo(a)pyrene and Bisphenol A) are analyzed. The relationship between urban area/stormwater properties and pollution load characteristics are investigated.