

GIS を用いたノンポイント汚染源の解析とその課題

横浜国立大学 大学院環境情報研究院・学府 ○益永茂樹、頭士泰之

Identification of Nonpoint Source Using Geographic Information System (GIS) and its Problem, by Shigeki Masunaga and Yasuyuki Zushi (Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University)

1. はじめに

私たちは地理情報システム (GIS) を利用して、河川における重金属や有機化学物質の汚染源の同定を試みてきた。亜鉛に関しては、工場や下水処理場などのポイント汚染源からの負荷と比較し、ノンポイント汚染源の寄与が都市河川では無視できないことを見つけ、その原因の解明を試みてきた¹⁾。また、近年広範な汚染が指摘されているペルフルオロアルキル化合物 (PFCs) についても解析を試みている。ここでは、PFCs による都市河川汚染の解析に事例を報告する。

PFCs は 1950 年代よりカーワックス、建築塗装、カーペット、インク、印刷紙、食品包装、電子部品、消火剤など、多用途に用いられてきたが、分析の困難さから、地球規模の生物汚染が発見されたのは比較的近年である。中でもペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) は、残留性と生物蓄積性を有し、毒性も指摘されていることから残留性有機汚染物質を規制するストックホルム条約の候補物質にも取り上げられている。

PFCs の汚染源と経路については議論があるが、PFOS 等そのものが工場や製品から環境へ放出されているとする説と、揮発性を有する前駆物質が大気へ放出され PFOS 等に変化しているとする説がある。PFCs の主な汚染源としては、その製造工場や使用工場、消火剤を備蓄・使用する空港、下水処理場等が指摘されている。しかし、製品からの放出や大気経由の輸送についてはノンポイント汚染源となる可能性があるにも係わらず、そのような観点からの研究は少ない現状である。実際のところ、私たちの研究では、降雨時に河川の PFCs 輸送量が増大することを観察しており、ノンポイント汚染の存在を示唆している²⁾。そこで本研究では、GIS を利用して PFCs のノンポイント汚染源の解析を試みる。

2. 調査方法

2.1 調査対象流域と試料採取地点

調査対象は鶴見川の支流、早濑川である。早濑川は、延長 10 km、流域面積 24.6 km²、流域人口 18 万人、人口密度 73 人/ha の都市河川である。流域には PFCs や関連物質を扱う工場はない。また、鶴見川に注ぐ河川末端を除き、分流式下水道処理区域で、かつ流域内に下水処理場は存在しないため、下水処理水の流入はない。さらに横浜市の下水普及率は 99.6% で、未処理下水の流入もない。他方、雨水幹線が張り巡らされ、13 の主要雨水幹線を通して路面排水等が河川に流れ込んでいる。

河川水および雨水幹線排水を 2007 年 1 月 9 日にスポット採取した。採取地点を図 1 に示す。河川水質の日変動については、下流地点で河川水を 1 時間ごとに採取し、PFCs の濃度変動が小さいことを確認した。調査は先行晴天期間 2 日の晴天日に行った。

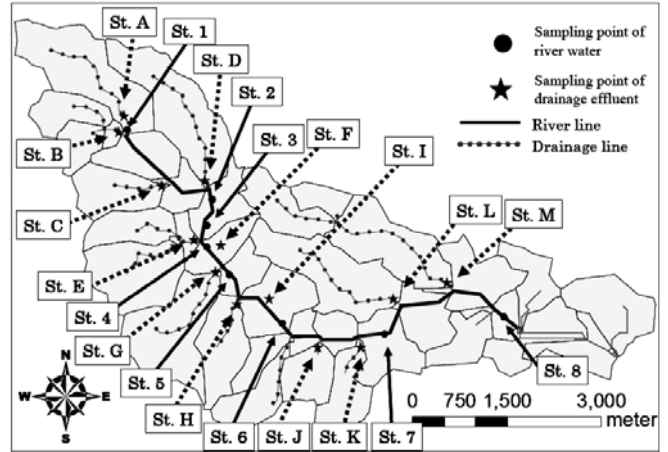


図 1 早濑川流域：河川水と雨水幹線排水の採取地点
河川水と雨水幹線排水の採取地点は、それぞれ数字とアルファベットで表記した。

2.2 分析対象物質

分析対象物質は、スルホン酸系のペルフルオロブタンスルホン酸 (PFBS)、ペルフルオロヘキサンスルホン酸 (PFHxS)、PFOS、ペルフルオロデカンスルホン酸 (PFDS)、および、カルボン酸系のペルフルオロヘキサノ酸 (PFHxA)、ペルフルオロヘプタン酸 (PFHpA)、ペルフルオロオクタン酸 (PFOA)、ペルフルオロノナン酸 (PFNA)、ペルフルオロデカン酸 (PFDA)、ペルフルオロウンデカン酸 (PFUnA)、およびペルフルオロドデカン酸 (PFDoA) である。

2.3 分析方法

水試料はガラス繊維ろ紙で懸濁態を除去後、Oasis HLB カートリッジで固相抽出した。濃縮後、メタノールに溶解し、高速液体クロマトグラフータンデム型質量分析計で定量した。

溶存有機炭素 (DOC) は、孔径 0.45μm フィルターで懸濁態を除去後、TOC 計で測定した。

2.4 地理情報の作成

GIS としては ArcGIS 9.1 (ESRI 社) を用いた。早濑川の集水域は 50 m メッシュの標高データから Digital Elevation Model (DEM) を用いて作成した (図 1)。各集水域別の人口と土地利用については、作成した集水域レイヤに人口 (2000 年の国勢調査)、土地利用データ (神奈川県平成 12 年度基礎調査：土地利用現況) を重ね、インターセクト機能を利用して作成した。St. F と St. I には河川に接続する雨水幹線が存在したが DEM では集水域が生成されなかった。逆に St. 6 と St. J の間に DEM から集水域が生成されたが、雨水幹線は存在しなかった。このように DEM による流域の作成結果には問題が残ったが、全体として図 1 は実際の集水域を反映

していることを下水道台帳との照合により確認した。

2.5 ノンポイント汚染源の解析手法

本研究は河川水質調査と GIS による地理情報解析の 2 つから構成される。まず調査地点は地理情報解析結果を基に決定した。次いで、得られた PFCs 濃度とその集水域の地理情報との間で相関解析や回帰分析を行った。統計解析には STATISTICA (StatSoft 社) を用いた。

土地利用データは 41 項目からなったが、対象流域に存在しない土地利用形態を除くと 29 項目が残った。これらの土地利用種間では互いに相間が見られたため、主成分分析による変数統合を行った。主成分分析 (正規化バリマックス法に回帰) により得られた統合変数である主成分 1~7 (PC1~7) (固有値 > 1) の累積寄与率は 93.0% であった。抽出された PC1 は店舗兼用集合住宅、業務用地、商業用地、運送用地、駐車場、および 12~22 m の道路と相関が高く、商業・交通関連の土地利用を代表すると解釈された。PC2 は軽工業や農業施設と負の相関をもった。PC3 は荒地や住宅用地、PC4 はオープンスペース、PC5 は山林、PC6 は公共用地や工事中用地を、PC7 は川を代表する変数と解釈された。これら PC1~7 の統合変数と PFCs 濃度との間で相関解析や主成分回帰分析 (PCR) を試みた。

3. 結果と考察

3.1 河川水中および雨水幹線排水中の PFCs 濃度

PFOS 濃度は河川水中と雨水幹線排水中でそれぞれ 5.0~45.8 と 2.2~667 ng/L の濃度範囲で検出された。PFNA 濃度はそれぞれ 4.9~35.9 と 3.9~34.5 ng/L、PFOA 濃度はそれぞれ 8.1~17.4 と 6.7~21.2 ng/L であった。早渕川の河川水は主に雨水幹線排水の流入からなっており、また雨水幹線排水の濃度が河川濃度より全体的に高いことから、河川の汚染は雨水幹線からの流入に支配されていると考えられる。したがって早渕川の PFCs 汚染は、集水域における路面等の面源から集められた雨水幹線排水に起因し、ノンポイント汚染に由来すると考えられる。このノンポイント汚染源の探索のため、雨水幹線排水中の PFCs 濃度と集水域の地理情報との間で統計解析を行った。

3.2 地理情報と PFCs 濃度の関連性解析

主成分分析により変数統合された土地利用情報や人口密度と PFCs 濃度、電気伝導度 (EC)、DOC との間で相関解析を行った結果を表 1 に示す。

商業・交通関連用地を代表する PC1 と PFOA、PFNA、PFUnA、PFOS の相関係数はそれぞれ 0.77、0.94、0.82、0.74 で、有意な相間が認められた。その他の PC については PFCs 濃度をはじめとする水質データとの間に有意な相関は見られなかった。いくつかの PFCs コンジェネーターが PC1 と相間を示さなかった理由については明らかでないが、各集水域において異なる PFCs 製品が利用されている場合や、鎖長により物理化学的性質が異なることで環境挙動が異なることなどの要因が考えられる。また、人口密度との有意な相間も得られなかった。

PC1 の因子スコアと PFC 濃度との回帰分析結果の一例を図 2 に示す。人間活動の活発な商業・交通関連用地が多く PFCs 化学種の汚染源となっている事が示唆

された。このような用途地域では、カーワックス、塗料、衣類、印刷紙等の PFCs を含有する日用品が多く使用されていると考えられる。

表 1 水質 (PFCs 濃度、EC、DOC) と地理情報 (変数統合した PC1~7) との間の相関解析結果

Geographic index	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	Population density
Water quality index								
PFHxA	0.69							0.64
PFHpA		0.59						
PFOA	0.77							
PFNA	0.94							0.66
PFDA	0.71							
PFUnA	0.82							0.52
PFBS							-0.55	
PFHxS	0.67						-0.58	0.56
PFOS	0.74							
EC								
DOC								

Blanks: $R < |0.5|$
Bold italic numbers: $p < 0.01$

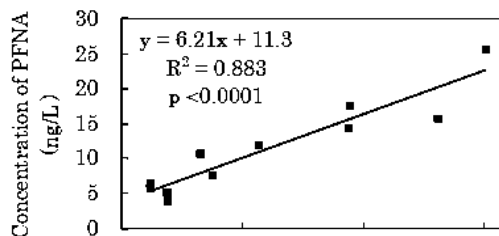


図 2 統合変数 (PC1) と PFNA との直線回帰

4. 結論

都市河川である早渕川を対象として PFCs のノンポイント汚染について解析した。水質の実測、および GIS による集水域毎の地理情報の抽出を行い、それらの相関解析により、一部の PFCs 化学種の濃度は商業・交通関連用地の占める割合に比例したことから、それらが商業・交通に代表される人為活動から流出していることが示唆された。

このように、GIS を用いた地理情報との相関解析によって、ノンポイント汚染源に迫ることが可能であった。しかし、集水域の作成は DEM だけでは正確性を欠くこと、土地利用形態間に相関が存在することから、特定の土地利用と汚染との間の解析が容易でなく、詳細な汚染源の特定が困難なこと、などの課題も明らかになった。更に詳細な解析のためには、これらの欠点を補う他の情報の組み合わせが必須であろう。

謝辞 本研究はグローバル COE プログラム「アジア視点の国際生態リスクマネジメント」及び科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進プログラム「事業者の化学物質リスク自主管理の情報基盤」の支援を受けて行いました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 西島, 佐藤, 益永, 内藤 (2008): GIS を用いた河川重金属汚染と土地利用との関係解析, 第 42 回日本水環境学会年会講演集, 11.
- 2) Zushi, Y., Takeda, T., Masunaga, S. (2008): Existence of nonpoint source of perfluorinated compounds and their loads in the Tsurumi River basin, Japan. *Chemosphere* **71**, 1566-1573.