

24 非点源負荷の定量と水域環境への影響度の評価

関西大学工学部 和田 安彦
〇田内 和三

1. 緒 論

公共用水域に流入する汚濁負荷には、工場や生活排水等による点源負荷と、都市や地域に広範囲に面的に散在した大気中の浮遊物、降下物、路面、屋根負荷、動植物に由来する廃棄物、都市の中小水路等の河床堆積物、雨天時合流式下水道越流負荷等の非点源負荷がある。前者は晴天時を中心とし、後者は晴天時に集積したものが雨天時に主として流出するものである。

水域は開いた系であるが、その部分部分では汚濁負荷は水系に溶解し、あるいは底に沈殿してある時に水系の中に再浮上するなど、水域全体をトータルとしてみると、流入負荷は形を変えて存在している。流入した負荷が簡単に減少しないのが水域の特徴でもある。従って、点源負荷と同様、非点源負荷も無視しえない。最近、総量規制やクリティカルな論議が中心となる場合も多く、世界有数の高密度、高活動社会でかつ、環境の質を高める方向を要求されるわが国では、これらの問題を究明し、その管理方法を検討する必要がある。ここでは、以上のような認識の上に、非点源負荷の分類、定量と、水域に与える影響を検討評価するものである。

2. 非点源負荷と水域環境

(1) 非点源負荷の分類

非点源負荷は面的に散在し、それが公共用水域に影響を与えるもので、「汚濁物の発生がある特定の地点からではなく面的に分布し、処理施設によって処理されておらず、面的な外部エネルギーによって流出するもの」と定義しうる。¹⁾ 発生源別に大別すると、次のようなものに分類しうる。²⁾

- 1) 自然系負荷：自然系の中に存在するもので（大気土壌）河川の自然負荷等で、大きな河川ではこの量は無視しえない。
- 2) 大気系負荷：大気中の浮遊物や降下物等をさし、煙突から出された排ガスが拡散され（点源から非点源への変換）面的にひろがった負荷でこの量はかなり多い。屋根、路面負荷も一部はこれによるものである。
- 3) 降雨含有負荷：大気系負荷とも関連するが、自然に降雨する物質ではなく、非常に小さな径の微粒子で降雨に溶解されて降雨時に含有するものである。
- 4) 農業系負荷：農作物を作るために施した肥料や、収穫後の農業廃棄物、農薬散布等によって水域に面的に流出してくる負荷である。
- 5) 廃棄物負荷：われわれの生活から発生するものであり、多くは廃棄物として処理されているが、動植物に由来する廃棄物も多い。
- 6) 河川系負荷：河川が河床等に貯留している堆積負荷も多く、特に、都市河川系には、河川系のもっている負荷は非常に多い。
- 7) 都市排水系負荷（下水道負荷）：都市に降った雨水排除は下水道と都市系河川によってなされるが、同時に都市自身の汚濁浄化排水として多量に河川に流出する。この中には、合流式雨水越流負荷、分流式雨水管きょ流出負荷、その他の排水系負荷が含まれている。
- 8) 都市行動系負荷：都市内を移動するための交通等によって排出される排ガス負荷や、同時に引き起こされるごみ、ほこり等も無視できず、これらが、屋根や路面に堆積する。
- 9) 土壌系負荷：土壌が降雨や、河川流出によって浸食されてゆく過程で流出してくる負荷で、宅地造成

等やそれらによって引き起こされる周辺自然環境系の変化による土壌系負荷もある。

10) 建設系、形質変更による負荷：土地の形質変更によって我々の生活基盤が整えられ生活環境を拡大整備しているが、これに伴って、面的にかなり多くの変化が生じ、その結果として、発生している負荷も多い。

(2) 非点源負荷と水域環境のかかわり

以上にあげた非点源負荷は直接的、間接的に水域環境にかかわっている。現在顕在化しているものは中村ら⁶⁾が精力的に発表している雨天時合流式越流負荷等である。非点源負荷が重要視されるのは主として都市域か、河川の中、上流域等で、環境水質や、水資源に直接関係するところを中心となるが、図-1にあげたような広範囲のかかわりをもっている。

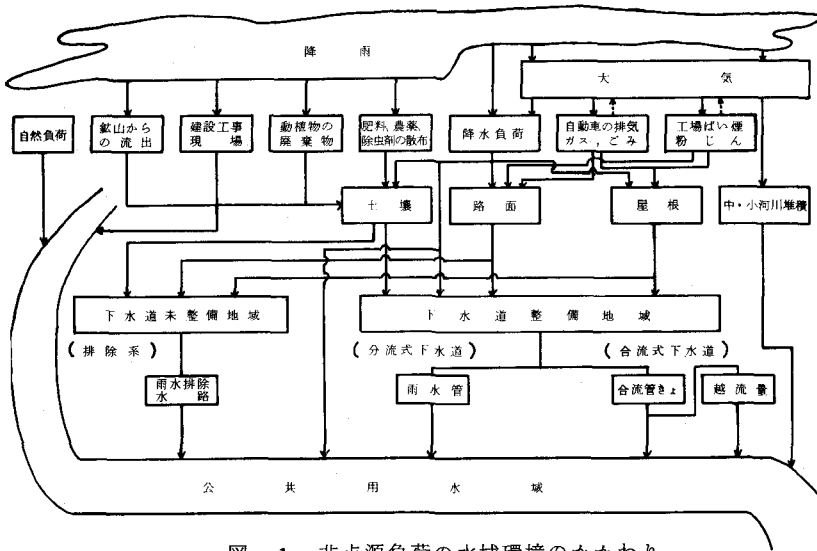


図-1 非点源負荷の水域環境のかかわり

いずれも非点源負荷は排水系を通じて公共用水域に流入するため、非点源負荷の制御と管理の上からは排除系を中心に考える方が妥当である。都市域を下水道整備区域（計画含む）と未整備区域とに分類（図-2）すると、前、後者に含まれている非点源負荷は次のようになる。

(下水道整備区域)

大気系負荷、降雨含有負荷、廃棄物負荷、都市排水系負荷（下水道負荷）、都市行動系負荷、土壌系負荷、建設系、形質変更による負荷

(下水道未整備区域)

大気系負荷、降雨含有負荷、農業系負荷、廃棄物負荷、都市行動系負荷、土壌系負荷、建設系、形質変更による負荷

いずれの場合も非点源負荷は広範囲に含まれているが、下水道未整備区域では、直接非点源負荷が公共用水域に流入する。

現在これらを管理する方法は皆無である。しかし、下水道整備区域では、下水道施設内にこれらの非点源負荷を捕獲している。従って、処理と管理を十分に行いさえすれば、非点源負荷は我々の生活系の中で対峙しうるものとなりうる。

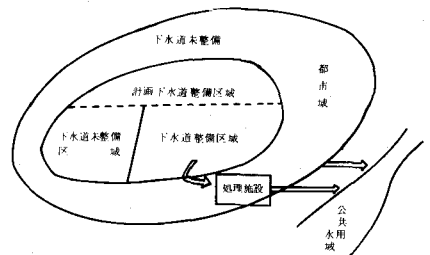


図-2 非点源負荷と下水道管理

3. 非点源負荷の定量化

ここにあげた非点源負荷全体を定量化することは今後の研究課程であり、ここでは紙面上一部について述

べる。

(1) 自然系負荷

人為負荷のない自然系流域での河川上流部等における負荷流出量は、表-1⁵⁾のようになっている。単位面積当たり1日の流出負荷量は、比流量を1日に換算したものを変数として線型式で表わされる。

自然系から流出する自然負荷の水質は、地域によって異なるもののBOD 0.4～0.75 ppmにあり、COD 0.5～1.4 ppm SS 1ppm前後にある。

(2) 都市行動系負荷（路面負荷）

都市行動、特に都市の人口、物質輸送等によって引き起こされる負荷は道路に推積している。京阪神都市での路面推積負荷¹⁾は表-2に示したように、住居専用地域は少なく、昔からの住宅街の住居地域は商業地域よりも比較的多く、工業地域には堆積量の多いのが特徴で、主として用途地域別に区分しうる。住居地域では、BOD 0.0589～0.0806 g/m²、SS 0.694～2.483 g/m²で、Saror⁴⁾らの調査よりやや多いものの、オーダー的には一致している。

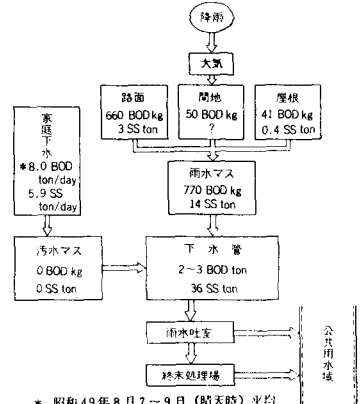
表-2 用途地域別単位面積路面堆積負荷量

要素	BOD (g/m ²)				SS (g/m ²)				NH ₄ -N (g/m ²)			
	範囲	平均	固:付		範囲	平均	固:付		範囲	平均	固:付	
第1種住居専用地域	0.0197～0.0198	0.0198	14:86		0.5337～0.7497	0.6367	91:9		0.00042～0.00069	0.00056	18:82	
第2種住居専用地域	0.0283～0.0612	0.0448	6:94		0.5625～1.3177	0.8960	92:8		0.00069～0.00090	0.00078	19:81	
住居地域	0.0589～0.0806	0.0698	16:84		0.6937～2.4831	1.5884	42:58		0.00090～0.00177	0.00134	54:46	
商業地域	0.0486～0.0516	0.0501	11:89		1.0163～1.0693	1.0428	32:68		0.00154～0.00183	0.00169	22:78	
近隣商業地域	0.0374～0.0799	0.0607	5:95		0.393～1.3883	2.7485	27:73		0.00063～0.00182	0.00106	21:79	
工業専用地域	0.0875～0.2095	0.1485	47:53		0.7626～8.813	4.7878	88:12		0.00222～0.00987	0.00605	75:25	
工業地域	0.1523～0.544	0.3482	88:12		5.701～31.721	18.711	97:3		0.00664～0.03423	0.02044	69:31	
準工業地域	0.0339～0.7268	0.2840	85:15		1.3002～43.174	15.484	93:7		0.00107～0.04579	0.01659	39:61	
要素												
用途地域	Mn (10 ⁻⁵ g/m ²)				Cu (10 ⁻⁵ g/m ²)				Pb (10 ⁻⁵ g/m ²)			
	範囲	平均	固:付		範囲	平均	固:付		範囲	平均	固:付	
第1種住居専用地域	1.53～77.9	39.7	90:10		1.52～2.98	2.25	8:92		0.25～0.60	0.43	2:98	
第2種住居専用地域	14.5～175	88.4	2:98		1.44～2.88	2.18	14:86		0.37～1.17	0.66	3:97	
住居地域	10.09～21.7	15.9	52:48		2.57～3.35	2.96	50:50		0.48～0.58	0.53	5:85	
商業地域	38.9～48.3	43.6	9:91		2.01～2.54	2.28	36:64		0.36～0.59	0.48	8:92	
近隣商業地域	19.9～46.9	30.1	8:92		1.43～4.05	2.48	38:62		0.17～0.77	0.43	5:95	
工業専用地域	41.5～257.0	149.0	34:66		2.13～18.66	10.40	80:20		0.18～1.19	0.69	68:32	
工業地域	139.1～394	266	84:16		15.1～70.0	42.6	97:3		0.96～3.76	2.36	72:28	
準工業地域	198～556	205	86:14		2.19～92.7	33.2	96:4		0.24～5.10	2.01	79:21	

(3) 都市排水系負荷

1) 合流式下水道

合流式下水道からの越流負荷のもとになる堆積負荷は土研⁶⁾によると(図-3)対象域542haで、BODでみると、路面、間地、屋根からの負荷は0.751t、雨水マスには0.77t、下水管きょには2～3tとなっている。これらの負荷の内、管きょ系に堆積している負荷は全体の56～66%をしめており、管きょ内に多くの負荷を内蔵している。家庭下水からの負荷は8.0t/日であり、年平均6日に1回10mm前後の降雨があるとすると、マクロには発生負荷の9.4%程度が公共用水域流出対象となる。



* 昭和49年8月7～9日(晴天時)平均

図-3 雨水の流下機構(合流式下水道)から見た負荷堆積量(東京都谷端川流域 A=5.42Km²)

下水道システム全体から公共用水域へ放流される負荷（図-4）は、雨天時（38日9時間）には、雨水吐から134 t/年、一次処理から44 t/年、二次処理からは67 t/年で、晴天時（326日15時間）の処理放流負荷632 t/年とから、年間発生負荷4,847 t/年のうち、877 t/年となる。

総発生負荷の18.1%が公共用水域に流出し、合流式下水道の総合除去率は81.2%といえる。この内雨天時流出によるものは5.1%でこれらの対策を行なうと、総合除去率は86.3%となる。筆者らの調査研究を行っているA都市排水区（154 ha）におけるこれらの特徴をみると次のようになる（図-5）。

各都市や地域における降雨量の差も大きく流出負荷量に影響する。雨天時には、雨水吐や一次処理施設からの流出負荷のウェイトが高くなるが、年平均でみると、総合除去率は81%にある。地域によって、雨水吐、一次処理放流負荷に変化がある。

アメリカ合衆国全土の処理場から公共用水域に放流される負荷量³⁾は、BOD 270万 t/年で、合流式下水道から越流する負荷は80万 t/年である。この量は処理放流負荷の29.6%にあたり、わが国の例ではその割合は（245 / 632）38.7%でその比率は米国より大きい。

以上のことから、下水処理場の発生負荷の軽減率はかなり大きく、公共用水域負荷からみると、その効果は大きい。

(4) 土地利用による非点源負荷の例

土地利用モデルをもとにして非点源負荷の一部を定量したものが表-4であり、1,000 haの都市を分流式下水道とし、表-3のような用途地域とした場合のものである。BODでは、雨水幹線から流出する負荷が大きく、路面、屋根等からのそれは一桁小さく、雨水排除系、土壌流出系によるものの大きいことが指摘しうる。SSでは、路面負荷、雨水幹線からの流出負荷のオーダーは類似している。

表-3 土地利用モデル

用途地域		ケース	⑤
道		路	250 ha (25%)
住宅	第1・2種住居専用		150 (15%)
	住居地域		100 (10%)
空地	舗装		25 (2.5%)
	未舗装		25 (2.5%)
公園			50 (5%)
田畑			150 (15%)
公共用地			100 (10%)
商業	近隣商業		50 (5%)
	商業		50 (5%)
工業			50 (5%)

表-4 非点源流出負荷の一例

項目 非点源種類	流出負荷量 (kg) (1,000 haについて)				
	BOD	COD	SS	NH ₄ -N	PO ₄ -P
大気	—	—	—	39	0.39
路面	68.82	(1912.46)	2153.3	7.99	3.84
雨水幹線	1024.35	752.98	2236.40	454.57	5.73
屋根	30.93	215.94	232.26	2.75	0.81
土壌	515.37	—	—	15.882	8.296

4. 非点源負荷を含む河川水質の検討

ここではマクロにモデル的に非点源負荷の水質に与える影響について試算する。合流式下水道における越流負荷は、処理放流負荷の約30%（BOD）前後にあるから、合流式下水道の場合には、これのみで、処理放流負荷が1.30倍となり、今1,000 haの都市の場合、晴天時発生負荷は4,500～10,000kg程度あり、処理効果が90%存在しても河川への放流負荷はBODで585～1,300kgとなる。従って、日流量200,000 m^3 /日レベルの河川で現況が2 ppmの河川でも、このような都市が開発されると、年間平均においては、完全混合としても河川水質は最低限4.9～8.5 ppmとなる。これは、非点源負荷を年間を通じて評価したものであるが、雨天時にはかなり高濃度の河川水質になっているといえる。

ここにあげたものはほんの一例であるが、今後これらの面について定量してゆく必要がある。現在の処理システムでは除去率を高度に上げるのは困難であり、非点源負荷を現況のままにするのではなく、何らかの処理システムに組み込む必要がある。

5. 非点源負荷管理制御の方法

面的に広範囲に発生する非点源負荷の水域からみた管理制御の方法には次のものがある。

(1) 発生源管理

非点源負荷は発生源があり、これが面的に広がるものであり、基本的には発生源の管理が重要である。しかし、社会生活上、発生源対策の困難なものもあり、そのためには次下的方法も重要となる。

(2) 土地管理

われわれの活動の基盤は土地であり、種々の活動の結果が土地に集約されてくる。都市活動によって発生した負荷が十分に処理制御しうる場合には問題はないが、生活系の中に外乱として流入する雨水の制御は非点源負荷流出のように現在の技術では十分対応しえない点もある。最も基本的な解決方法は、都市流出水が下水管きょに流入する以前における雨水量、汚濁負荷を減少させるすべての対策を含めた土地管理が必要である。土地管理⁷⁾は大別して次の2つに分けられる。

1) 構造的制御

構造物によって制御されるものをさし、流量制御対策が中心である。それは、上流の堤防による貯水、沈殿物と侵食防止を含んでおり、浸透性舗装、汚濁防止技術、洪水制御の統合等も含まれており、一時的に流出を上流で滞留させることによって、排出量を減少させるものである。

2) 非構造的制御

構造物を作ることではなく、質的な制御手段によるものであり、

- ① 家政
- ② 地表面の衛生
- ③ 化学薬剤の使用の制限
- ④ 大気汚染防止
- ⑤ 土地利用
- ⑥ 土地開発や地帯性の考察

などの汚濁物や流出をおこすインプットの制御である。

(3) 下水道整備と越流負荷貯留処理

発生した非点源負荷をどこが処理し管理しうるかという点、下水道施設しかないのが現状であり、これらの管理制御の基本となるのが下水道となる。しかし、現在の下水道は必ずしも非点源負荷をすべて管理しうるシステムとはなっておらず、分流式の場合は非点源負荷に対処できないが、合流式の場合は3 DWFまでの小降雨時には非点源負荷をとりこみ処理をしている。しかし、3 DWFを越える降雨の場合には対応できていない。越流する負荷や都市流出雨水の汚濁制御のために貯留が必要で、現状における最も信頼し得る汚濁軽減法といえる。

貯留処理法は、晴天時に処理しうるから次のような特性を備えている。

- 1) 構造設計、運転が単純
- 2) ランダムな降雨の特性に十分対応しうる。
- 3) 水量、水質の変化に比較的影響を受けない。
- 4) 流量の平滑化が行え、処理施設と連携して、晴天、雨天の両状態で運転しうる。
- 5) 相対的に事故が少く、段階的に建設しうる。
- 6) 下水道系内、系外どちらでも建設でき、内陸や沿岸でも建設しうる。

(4) 雨水管理統合システム

非点源負荷を対象とした都市雨水管理法の基本は、広域的、学際的な視点をもつ制御と処理の統合システムの確立にある。機動的に非点源負荷に対応するにはこれらのシステムが柔軟性と効率をもつように組み立てることにある。現在考える統合システムは次のものである。

1) 貯留処理システム

貯留には、沈殿、処理施設への返送、滅菌処理が必要である。

2) 雨天・晴天時施設の2重活用

降雨のない時の雨天用施設の活用、降雨時の晴天用施設の活用で、外国では、高速散水3床、接触安定池、調整池の2重活用もあり、合流管きょも2重利用システムである。

3) 制御、処理、再利用システム

非点源負荷の管理にはトータルシステムが必要で、次のようなものがある。1) 公園、処理、湖農業かんがいシステム、2) 自然による排水システム、3) 人工の処理、再利用システム

6. ま と め

非点源負荷を分類し、それらが水域環境にどのようにかわり合っておりその大きさについて一部定量を行なった。クリティカルな状態の多い中小河川や、大河川においても、これらの負荷は水域の環境水質に大きな影響を及ぼすことが指摘でき、土地利用を含めた非点源負荷管理方法も今後重要となつてこよう。非点源負荷も今後、何らかのシステムによって処理する必要も生じてこよう。

参 考 文 献

- 1) 和田安彦他；水環境制御における非点源負荷の定量と評価、第6回環境問題シンポジウム論文集、土木学会、1978年
- 2) 和田安彦；水域環境アセスメントにおける雨天時下水道の評価、第5回環境問題シンポジウム論文集、土木学会、1978年
- 3) Michael D. Giggey et al ; National Needs for Combined Sewer Overflow Control , Journal . E E 2 , April 1978 , ASCE .
- 4) Sartor and Gail . B . Boyd ; Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants , EPA-R2-72-081 , Nov . , 1972
- 5) 和田安彦；河川上流部の自然負荷の定量化とその特性、用水と廃水、vol.20 , No4 , 1978年
- 6) 雨天時における合流式及び分流式下水道の改善に関する調査日本下水道協会、昭和54年3月
- 7) 稲場紀久雄訳；流出汚濁の制御技術の現状と展望、公害と対策 vol.12 , No9 , 1976年