

関西大学土木工学教室 和田 彦 希

1. はじめに

土木工学において水環境の制御と管理、とりわけ水質管理は重要な問題となっており、土木工学や各種施設も水質環境に与える影響の評価なくしてありえなくなっている。従来水質の管理は発生源対象とその処理が中心とされ、点源負荷を中心としてきたが、面的に存在する非点源負荷も決して無視することができず、これらを総合的に定量した上で、水環境に与える各種の汚濁源をもう一度検討しなおす必要がある。ここでは、公共用水域のみならず非点源負荷の定義と種類及びその実測値を土地利用をもとにして検討するものである。

2. 非点源負荷の定義とその影響

(1) 河川からみた非点源負荷

河川等に流入する負荷は発生源別に分類すると、点源汚濁と非点源汚濁とに分けられる。非点源汚濁とは、汚濁物が点源として発生するものではなく、面積的に分布して発生する負荷の総体を指したものであり面的負荷とも呼ばれる。ここでは非点源負荷を次のように定義する。

- 1) 現在、処理施設によって処理されていない汚濁負荷を対象とし、面的に分布しているもの。
- 2) 汚濁物の発生がある特定の地点からではない負荷発生を総称したもので、面的な外部エネルギーによって流出するもの。

今後、水域水質環境基準の保持のために必要とされるクリティカルな負荷や、未算定負荷、雨天時流出負荷も含まれる。非点源負荷をあげると表-1のようになり、交通施設により発生する負荷、大気からの降水負荷、土壌からの浸透流出負荷、農業負荷、自然負荷、動植物に由来する廃棄物、都市の中小水路河川床堆積物、雨天時下水道負荷、降雨負荷、薬剤散布等に大別しうる。

表-1 河川からみた非点源負荷

汚濁物	汚濁源	発生時期	流出時期
点源汚濁	1. 家庭下水		晴天時
	2. 工場廃水		晴天時
非点源汚濁	1. 交通発生負荷	晴、雨	雨
	2. 大気中の浮遊物、降下物	晴	晴
	3. 路面負荷	晴	雨
	4. 土壌浸食、流出負荷	雨	雨
	5. 農業負荷	晴、雨	晴、雨
	6. 動植物に由来する廃棄物	晴	雨
	7. 自然負荷	晴	晴、雨
	8. 都市の中小水路、河川床堆積物	晴	雨
	9. 雨天時下水道負荷	晴	雨
	10. 降雨負荷	雨	雨
	11. 薬剤散布負荷	晴	

(2) 非点源負荷の都市水文システム

図-1は、O.N. フランクラ¹⁾によって表わされた水管理における都市域の水文システムを示したものである。これには非点源負荷については表わされていないが、人工の都市域の表面、雨水渠、降雨、流出の中にそれらを含めることができる。非点源負荷は河川についても重要であるが、最も大きな影響を受けるのは海域である。海域への流出には表面流出、流出、地下流出すべてに非点源負荷が含まれている。

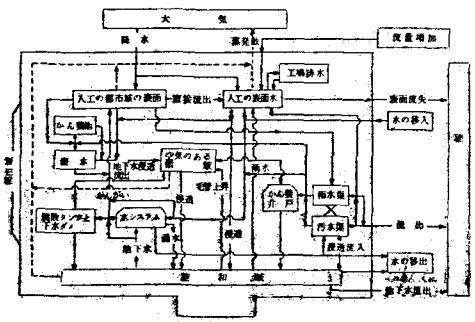


図-1 都市域の水文システム (北地産調査所の専門出版物 627F、3972のO.N. フランクラと N.E. マックレーメント著「水管理計画へのガイド」としての「Y. ロングアイランド」に於ける水文状態のまとめ」から簡略して作成)

3. 路面負荷の定量とその特性

(1) 路面負荷調査地点及び調査方法

1) 調査地点

調査地点の選定にあたっては次のような条件を考慮した。

- ① 用途地域別に堆積負荷量が求められるような用途地域の転化しているところ
- ② 都市内部と周辺部分との比較
- ③ 高密度と低密度の密度比較
- ④ 新興住宅団地と都市市街地の比較

調査地点はA市のオ1, オ2種住居専用地域, 住居地域, 近隣商業地域, 商業地域, 準工業地域, 工業地域, 工業専用地域の8用途地域を選り20地点とした。

2) 調査方法

路面堆積調査は大別して路面に堆積している比較的粒子径の大きなものを対象とする清掃除去方式と, 付着している微粒子を対象とする洗浄除去方式によって行なう。

① 清掃除去方式

よめの細かいほうきによって, 対象面積に堆積している比較的粒子径の大きなものを(はきり), 集積する。

② 洗浄除去方式

路面に付着している微粒子をブラシによって洗浄してその洗浄水を採取する。

③ 対象面積

路肩から15cmごとに2ヶ所, 路肩から30cmから230cm, 1ヶ所を道路の両端から計2回調査を行なう。(図-2)。対象面積は2.30㎡である。

④ 堆積含有負荷の定量

以上のようにして採取した路面堆積物を洗浄方式によるものは, 水1000.0ccの中にすべて溶解させ, その含有物を下水道試験法により分析する。清掃除去方式によるものは, 250μ以下のもののみ水に溶解させ同様にその含有量を定量する。

⑤ 調査回数

調査は3回行ない, 1回に20地点(40ヶ所)を対象とした。ここで得られた資料をもとにして解析する。

(2) 堆積物の粒子構成

路肩に比較的堆積物の多い地点の堆積物の粒子構成を表わしたものが表-2である。粒子径が2000μ以上のものはごみ類とし, ここでは2,000μ未満のものを

としている。粒子径2,000μ未満の重量割合は, 地点の堆積状況によるが, 大半は90~98%であり, 径の大きなごみ類の重量比は小さい。表-3は, 粒子径が2,000μ未満の径別重量比を表わしたものであり, 2,50μ未満のものが大半45.8~66.5%をしめており, 粒子径の小さいもの占める割合の大きいことを示している。図-3は路面堆積物の粘土分布を表わしている。

表-3 微粒子の粘土分布 (2,000μ未満)(重量%)

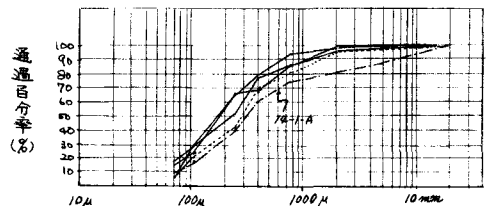
調査地点	74μ	105μ	250μ	420μ	820μ	2000μ
1 5-1-A	9.53	31.20	54.70	58.13	77.72	100.00
2 5-2-A	8.29	24.97	45.76	78.34	86.54	100.00
3 10-1-A	8.45	21.55	32.35	31.01	37.40	100.00
4 10-2-A	8.75	23.97	51.54	30.30	77.34	100.00
5	12.32	35.34	57.14	59.45	89.70	100.00
6	4.21	10.41	32.12	51.17	77.79	100.00
7 7-2-B	15.84	26.18	66.51	78.09	85.30	100.00
8	19.08	28.50	65.15	82.08	95.59	100.00
9 14-1-A	14.75	24.19	30.91	75.06	94.00	100.00

表-2 A市路肩堆積物分析表

地点No	各2.30㎡を清掃する重量と重量比(乾状態)										合計
	20μ	74μ	105μ	250μ	420μ	820μ	2000μ	2500μ	25mm	75mm	
1 5-1-A	209.08	684.53	1204.51	1867.75	1999.17	2194.00	2274.93	2324.35	2357.07	2500μ以上	2365.80
2 5-2-A	225.66	658.82	1265.64	2146.11	2355.71	2722.11	2816.43	2872.46	2919.93	2926.62	2127.28
3 10-1-A	124.78	412.29	239.58	1440.13	1230.06	1407.39	1431.85	1436.18	1443.38		235.14
4 10-2-A	309.18	1099.02	1955.24	3065.26	2332.28	2792.64	2862.88	2972.71	2986.38	4044.56	1088.44
5	144.89	349.42	646.50	945.42	1015.30	1130.21	1154.20	1119.80	1128.91		3.65
6	12.92	39.40	64.32	129.33	189.28	255.72	321.51	399.24	470.91		1.06
7 7-2-B	65.19	107.75	273.73	309.56	351.06	411.76	413.35	417.17			1.68
8	117.29	182.18	400.48	506.57	587.60	616.71	621.93	624.14			0.65
9 14-1-A	151.39	253.31	390.20	575.30	720.47	746.46	817.65	892.63	955.29		2.58

*: 25mm以下(微細) 2000μ以上のものを2000μ未満と見做す。

図-3 粒度分布



3) 堆積物の含有負荷量

1) 堆積固形物含有負荷量

表-4は堆積固形物(0~250μ)100子中の含有負荷量を表わしたものである。調査地点によってばらつきがあるが、とれらを平均すると、BOD 0.0945g, SS 5.618g等となる。重金属の含有量の多いものはMn(69.2×10⁻³g), Zn(18.2×10⁻³g), Cu(12.5×10⁻³g)等である。

2) 単位面積有機負荷量

表-5は各調査地点の路面両地点の全堆積有機(付着含)負荷量ならびに、単位面積当たりの有機負荷量を表わしたものである。準工業地域、工業地域、工業専用地域では堆積有機物が非常に大きいことがわかる。

表-4 固形物(0~250μ)100g中の各項目別含有量

項目	範囲(g)	平均(g)
BOD	0.0346~0.1491	0.0945
SS	2.975~9.731	5.618
NH ₄ -N	0.0037~0.0110	0.0061
PO ₄ -P	0.0007~0.0020	0.0011
Mn	2.3~199.5×10 ⁻³	69.2×10 ⁻³
Cu	3.7~42.1×10 ⁻³	12.5×10 ⁻³
Zn	6.3~42.5×10 ⁻³	18.2×10 ⁻³

(4) 用途地域別単位面積路面負荷量

用途地域別に路面に堆積付着している負荷量ほどの程度となるのかを表わしたものが表-6である。

1) 環境項目

BODでは工業系地域の堆積量が0.1495~0.3492g/m²で他の用途地域より一桁大きく、路面がかなり汚濁化していることを表わしている。オ1種住居専用地域(0.0198g/m²)は最も少なくて、住居、商業、近隣商業地域はほとんど類似し0.0501~0.0698g/m²にある。工業系地域においては堆積負荷の占める割合が大きい、住居系、商業系地域においては付着負荷の占める割合(84~94%)が大きく、路面の維持管理が居住者によって比較的良態に保たれていることがわかる。特に商業地域では固形負荷の占める割合が小さい。

SSでも工業系地域の堆積量が0.7626~43.174g/m²と大きく、最も少ないのはオ1種住居地域(0.6367g/m²)オ2種住居地域(0.8960g/m²)であり、近隣商業地域(0.7485g/m²)、商業地域(10.43g/m²)は住居地域(1.588g/m²)と比べて比較的存在負荷量が小さい。

NH₄-Nについても同様の検討を行なうと、BOD, SSと少し異なり付着負荷の割合の多い傾向にある。

2) 金属項目

Mnは最も堆積量の多い項目であり、工業系地域の負荷量が他の用途地域のそれを1桁以上上回っている。含有特性はBOD, SSと類似しており、工業系地域では堆積負荷が全負荷の3/5以上をしめるが、その他の地域では付着負荷の割合が大きい。

4. 非点源負荷の総合的検討

ここでは非点源負荷の1つである路面負荷について調査結果をもとにその一部について述べた。ここでは、非点源負荷からみると、これらの負荷量ほどの程度となり、何が最も大きな負荷量になるかを土地利用モデルをもとに検討する。

(1) 土地利用による非点源汚濁負荷の定量

非点源負荷は面積的に分布した負荷であるため、土地利用をもとに検討する必要がある。表-7はここで検討する土地利用である。1000haをもとにしており、住居、商業地域を中心とした土地利用で田園部も残っている

表-5 市単位面積全含有有機物量

地点No	用途地域	有機物量(g)			合計値(0~250μ)	BOD地点の単位面積当たりの有機物量(g)
		A(0~15cm)(1m×0.15m)	B(15~30cm)(1m×0.15m)	C(30~250cm)(1m×2m)		
1	オ1種住居専用地域				0.0726	0.0316
	オ2種住居専用地域				0.0444	0.1982
2	オ1種住居専用地域				0.4104	0.1984
	オ2種住居専用地域				0.0945	0.0409
3	近隣商業地域	0.4007	0.0627	0.2384	0.7269	0.3160
	商業地域	0.3671	0.2333	0.4826	1.0555	0.6587
4	オ1種住居専用地域	0.0643	0.0681	0.6132	0.7456	0.3287
	オ2種住居専用地域	0.0454	0.9838	0.2664	1.2956	0.5546
5	工業地域	125.25	0.3647	0.1321	125.75	54.67
	準工業地域	129.71	7.2800	0.1667	136.13	59.19
6	オ1種住居専用地域	1.1490	0.0814	0.3644	1.5498	0.6787
	オ2種住居専用地域	0.0907	0.0102	0.0732	0.1531	0.0289
7	工業専用地域	23.155	9.2243	2.467	34.845	15.150
	工業地域	2.217	32.38	22.86	57.47	25.07
8	商業地域	1.147	0.0666	0.4229	1.636	0.711
	近隣商業地域	0.1427	0.0289	0.1023	0.2719	0.1205
9	オ1種住居専用地域	0.1559	0.3910	0.3910	0.5479	0.2797
	オ2種住居専用地域	0.9717	0.2112	0.683	1.8659	0.2970
10	オ1種住居専用地域	4.9111	0.0072	0.1395	5.0378	2.1923
	オ2種住居専用地域	0.2987	0.1316	0.5998	1.0301	0.4479
11	住居地域	0.1481	0.2634	0.4115	0.8230	0.1789
	商業地域	0.1177	1.033	1.1507	2.2003	0.8003
12	工業専用地域	0.5475	0.4843	0.6200	1.6518	0.8095
	工業地域	0.4945	0.0634	0.3654	0.9233	0.4614
13	工業地域	27.66	0.0616	0.6545	28.38	12.34
	準工業地域	0.1340	0.0032	0.0827	0.2219	0.0965
15	近隣商業地域	0.0428	0.1386	0.1814	0.3628	0.0789
	商業地域	0.0258	0.1445	0.2006	0.3709	0.0872
16	オ1種住居専用地域	0.3746	0.2266	0.6012	1.2024	0.2614
	オ2種住居専用地域	0.2458	0.1160	0.3619	0.7237	0.1573
17	オ1種住居専用地域	0.0729	0.0245	0.0974	0.1948	0.0423
	オ2種住居専用地域	0.1272	0.0062	0.1334	0.2668	0.0380
18	オ1種住居専用地域				0.0410	0.0198
	オ2種住居専用地域				0.0941	0.0409
19	準工業地域	57.650	1.501	3.101	62.25	27.07
	工業地域	145.27	42.162	3.925	191.35	85.35
20	商業地域	0.2235	0.0934	0.7368	1.1077	0.4817
	近隣商業地域	0.2308	0.1349	0.3183	0.7040	0.3061

表-6 全堆積負荷量の国形付着の用途地域の割合

用途地域	要素	BOD (g/m ²)				SS (g/m ²)				NH ₄ -N (g/m ²)			
		範	平均	国:付	国:付	範	平均	国:付	国:付	範	平均	国:付	国:付
第1種住居専用地域	0.0777 ~ 0.0728	0.0752	14: 26	0.5777 ~ 0.7837	0.8377	27: 7	0.0062 ~ 0.0019	0.0040	18: 12				
第2種住居専用地域	0.0283 ~ 0.0212	0.0247	5: 26	0.7828 ~ 1.3177	0.8560	22: 8	0.0069 ~ 0.0030	0.0077	11: 21				
住居地域	0.0283 ~ 0.0264	0.0278	15: 28	0.8337 ~ 2.8277	1.8824	42: 49	0.0090 ~ 0.0077	0.0084	48: 64				
商業地域	0.0486 ~ 0.0576	0.0599	11: 27	1.0157 ~ 1.0437	1.0428	32: 58	0.0054 ~ 0.0083	0.0067	22: 28				
近隣商業地域	0.0474 ~ 0.0799	0.0607	5: 26	0.7837 ~ 1.2883	2.7488	27: 27	0.0033 ~ 0.0082	0.0066	21: 29				
工業専用地域	0.0475 ~ 0.2076	0.1485	47: 43	0.7426 ~ 8.813	4.7878	88: 12	0.0022 ~ 0.0097	0.0068	76: 28				
工業地域	0.1623 ~ 0.494	0.3872	88: 12	0.701 ~ 31.727	18.711	37: 7	0.0066 ~ 0.0082	0.0048	63: 21				
準工業地域	0.0397 ~ 0.7288	0.2820	28: 15	1.3002 ~ 43.174	18.424	33: 7	0.00107 ~ 0.00877	0.01667	31: 11				

第1種住居専用地域—地点No. 1, 18
第2種住居専用地域—地点No. 2, 15
商業地域—地点No. 8, 20
近隣商業地域—地点No. 9, 18
住居地域—地点No. 4, 11
工業専用地域—地点No. 7, 13

用途地域	要素	Ca (10 ² g/m ²)				Zn (10 ² g/m ²)				Pb (10 ² g/m ²)			
		範	平均	国:付	国:付	範	平均	国:付	国:付	範	平均	国:付	国:付
第1種住居専用地域	1.63 ~ 77.7	28.7	30: 10	1.62 ~ 2.32	2.28	8: 22	0.25 ~ 0.60	0.42	2: 28				
第2種住居専用地域	19.5 ~ 17.8	18.4	2: 28	1.98 ~ 2.88	2.18	14: 22	0.27 ~ 0.87	0.53	5: 28				
住居地域	0.09 ~ 21.7	15.9	43: 88	2.47 ~ 3.86	2.96	40: 80	0.27 ~ 0.87	0.53	5: 28				
商業地域	28.7 ~ 88.7	83.6	9: 91	2.01 ~ 2.64	2.28	26: 46	0.27 ~ 0.87	0.53	5: 28				
近隣商業地域	19.7 ~ 86.7	28.1	8: 22	2.23 ~ 4.05	2.68	38: 42	0.27 ~ 0.87	0.53	5: 28				
工業専用地域	41.7 ~ 27.0	149.0	74: 66	2.72 ~ 18.66	10.40	80: 20	0.27 ~ 0.87	0.53	5: 28				
工業地域	17.1 ~ 27.8	26.1	84: 14	2.11 ~ 70.0	42.1	52: 2	0.27 ~ 0.87	0.53	5: 28				
準工業地域	11.1 ~ 56.6	30.8	95: 14	2.11 ~ 32.7	33.2	34: 8	0.27 ~ 0.87	0.53	5: 28				

工業地域—地点No. 5, 14
準工業地域—地点No. 6, 10, 17

住居都市域に相当したものである。

1) 路面負荷量

土地利用の道路率を各用途地域に配分して、先にお求めた単位面積負荷量をもとにして算定する。先行晴天日数がいく分影響するため工業地域については5日間の堆積負荷量をもとにして調査値の80%を用い、他の地域は調査値を用いた。

2) 屋根流出負荷量

敷地内では法的限度内まで建物が建てられる傾向が強いことから、建ぺい率を次のように定めて屋根面積を求める。

- 第1,2種住居専用地域 30%
- 住居地域 60%
- 近隣商業地域, 商業地域 80%
- 準工業地域 50%
- 工業地域 10%

表-7 土地利用

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

対象降雨は降雨後60分で流出することから、1時間内降雨量を求め(3.40mm)これを用いる。屋根流出水質をもとにして求める。

3) 降雨含有負荷量

降雨含有負荷の定量方法には種々のものが考えられるが、ここでは小林隆²⁾による結果を参考にして、降雨の平均水質をNH₄-N 0.3ppm, PO₄-P 0.03ppmとし、A市の年間平均日降雨量(330mm/年)をもとにした。

4) 土壌流出対象負荷量

土壌流出負荷の算定は困難で未知な部分が多いため、田畑のみの土壌流出を考慮し、地表面より10cmの土壌中の含有負荷量(250cm未満)を対象として次式によって計算する。

$$L = \frac{k}{100} \cdot S \cdot P \cdot l \quad \text{----- (1)}$$

L: 土壌の存在負荷量
S: 対象面積

f: 比重

g: 係数

h: 粒子径 250 μ 未満の占める割合

ここで, $S = 150 \text{ ha}$, $f = 2.69$, $h = 62.3\%$ を実測値から得, これを用いる。

(2) 非点源負荷の検討

非点源負荷全体にわたってそれらを定量することは困難なため, ここでは, 大気, 路面, 屋根, 雨水幹線, 土壌流出負荷に限って検討すると表-8 のようになる。合流式下水道流出負荷, 河床堆積物の流出は別愛している。1000 ha の土地利用についての非点源負荷の大きさを比較できる。

表-8 非点源流出負荷量

項目 非点源種類	流出負荷量 (kg) (1000ha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

1) BOD

雨水幹線から流出する負荷が大きく, 路面, 屋根負荷はそれより1桁小さいが, 土壌からの流出負荷も流出率に比べては大きくなる。

2) COD

SS 系の影響を受けており路面負荷は大きい。

3) SS

路面負荷, 雨水幹線からの流出負荷のオーダーは似ているが, 屋根からの流出負荷は路面負荷の1割程度である。

4) NH₄-N

雨水幹線からの流出負荷が大きく, 主として雑排水系の流水等が影響しているものと考えられる。雨水中の含有負荷も含めたものであるが, この流出負荷量は大きく路面, 屋根の流出負荷の和は大気からのものより小さい。これは雨水流出は対象土地全域に及ぶものであるが, 路面は土地利用面積の1/4程度によることにもよっている。

5. おわりに

非点源負荷量について下水道からみた場合については前シンポジウムで明らかにしたが, 水環境特に公共用水域からみた非点源負荷についてその定義及び負荷量の定量を行なった。限られた非点源負荷しか対象にいれなかったが, 現在さらに未知の部分を明らかにしているところである。今回得られた結論をまとめると次のようになる。

- 1) 路面堆積土の大半は径 2000 μ 未満のものでその重量比は 90~98% にある。2000 μ 未満のもののみについてみると, 250 μ 未満の粒子径の小さなものが大半 45.8~66.5% をしめており, 微粒子が多い。
- 2) 堆積固形物 (250 μ 未満) 100g 中の含有量は, 平均 BOD 0.0945g, SS 5.618g であり, 重金属では Mn が最も大きく, Zn, Cu は類似している。
- 3) 単位面積当りの有機負荷は工業系地域が他の用途地域より群を抜いて大きい。
- 4) 工業系地域の堆積負荷量はその他の用途地域のそれより1桁以上大きく, 路面汚濁の進行の大きいことがあげられ, 住居地域や商業地域では居住者の維持管理により堆積付着負荷は少なく, 中でも固形負荷は少ない。
- 5) 非点源負荷は BOD では雨水幹線から流出する負荷が大きく路面, 屋根負荷はそれより1桁小さいが, SS では, 路面負荷, 雨水幹線からの流出負荷のオーダーは似ている。どのような水質項目でみるかによって発生源の大小及びそのウエイトが変化する。

おわりに、調査に参加した関西大学土木工学教室 田内和三君の協力を付記します。なお、非点源負荷の定量を含めた制御の参考については 京都大学、大阪大学教授 末石富太郎先生にアドバイスを受けた。ここに謝意を表わします。

参 考 文 献

- 1) 第3回日本下水道処理技術委員会会議録, 日本下水道協会, 昭和49年2月
- 2) 小林隆; 雨水の富栄養化について, 水.