

印旛沼流域の非特定汚染源負荷調査

平間幸雄 小倉久子 清水明 飯村晃 小林廣茂

1. はじめに

湖沼などの水域の浄化を図るためには、生活排水、事業場排水などの「点源負荷」に加えて、市街地や農地などから降雨に伴って排出される「非特定汚染源（面源）負荷」の削減対策が必要である。点源負荷については、下水道整備など実効のある対策が進められているが、面源負荷は点源負荷に比べて実態の把握が難しいこともあり、これまで十分な対策が行われていないのが実情である。印旛沼流域では、今後、下水道の整備など生活排水対策が進むにつれ、流域全体の汚濁負荷量に占める面源負荷の割合がさらに大きくなっていくため、その対策を策定する上でも実態をより正確に把握することが必要である。

そこで、印旛沼流域における非特定汚染源（面源）負荷の排出実態を把握し、原単位設定の資料を得るため、今回は、市街地、住宅地、緑地・公園、山林を主な用途とする地域を対象とし、降雨時を中心に水量・水質の調査を行った。また、市街地等における面源負荷対策の可能性を検討するため、排水路、調整池などの堆積物の性状調査を行った。

これらの調査は環境省からの委託により、水質保全課と共同で行った¹⁾。

2. 調査の概要

2・1 調査対象地域

地形図、航空写真、現地踏査などにより、土地利用状況、集水状況等の検討を行った結果に基づいて、印旛沼南部の高崎川流域から、市街地、住宅地、緑地・公園、山林をそれぞれ主な用途とする11地域を選び、調査対象とした。対象地域の土地利用状況を、表1に示す。

2・2 流量・水質実測調査

各地域からの面源負荷を把握するため、降雨時に流量・水質の実測調査を行った。

調査は、2003年1月23日に行った。対象地域の集水域流末において、原則として降雨開始から15分、30分、45分、1時間、2時間、3時間、4時間、5時間の計8回の流量測定、採水を行った。なお、平常時（非降雨時）に流量がある地点では、降雨前にも採水を行った。また、地点2において調査期間を通して1試料の雨水を採取した。分析項目は、COD、全窒素（T-N）、全りん（T-P）である。分析方法は、千葉県公共用水域水質測定計画に基づく調査の方法に従った。

表1 調査対象集水域の土地利用状況

主な土地利用形態	地点番号	調査対象地区名	土地利用面積 (ha)							
			山林	水田	畑	市街地	宅地	道路	公園等	総面積
市街地	1	JR佐倉駅周辺（鏑木町二丁目）				0.42	0.92	0.53	0.40	2.27
	2	JR佐倉駅周辺（表町三丁目）				3.14	1.24	2.96	0.86	8.20
住宅地	3	佐倉白銀ニュータウン（谷津堀調整池）	0.10		0.64		5.96	2.23	1.11	10.04
	4	佐倉白銀ニュータウン（谷津堀調整池）				0.31	7.61	3.44	2.85	14.21
	5	大崎台団地（大崎調整池）	0.21			0.17	3.95	1.91	3.88	10.12
	6	松ヶ丘団地	9.28		3.44	6.79	12.51	7.66	14.58	54.26
	7	みどり台団地（みどり台調整池）					0.64	0.25		0.89
山林	8	下勝田地区	1.94		0.40	0.40	0.32	0.27	0.69	4.02
	9	天辺地区	6.52	0.20	0.90	0.11	0.28	0.36	3.21	11.58
	10	馬渡地区	1.40			0.06				1.46
緑地・公園	11	白銀地区							0.98	0.98

2・3 堆積物の性状調査

市街地等における排水路などの堆積物除去による汚濁負荷除去効果を推定するため、堆積物の採取・分析を行った。

「2・2 流量・水質実測調査」対象地域内の各1地点（主に集水地点付近）、合計11地点で試料を採取した。主として市街地における対策を想定しているが、比較のため、山林の多い地区も調査対象とした。詳細は、後出の調査結果（表3）に記載のとおりである。調査は、2003年1月28日に行った。

採取試料は、2mm目の篩にかけて（試料1,2を除く）夾雑物を取り除き、40℃で乾燥後粉砕し、分析用試料とした。分析項目は、強熱減量、ケルダール窒素（K-N）、全りん（T-P）で、分析方法は以下のとおりである。

強熱減量：600℃で2時間強熱

K-N：ケルダール分解後、全窒素分析装置で測定

T-P：硝酸-硫酸分解後、モリブデン青（アスコルビン酸還元）吸光光度法で定量

3. 結果と考察

3・1 流量・水質実測調査

(1) 降雨の状況

調査当日の1月23日は、昼前から雨が降り始め、夕方過ぎに上がった。印旛土木事務所における日降雨量は17mm、時間最大雨量は4mmであった。調査日2日前の1月21日に5mm、4日前の1月19日に9mmの先行降雨があった。

(2) 流量、水質、負荷量の経時変化

流量、水質、負荷量の経時変化の代表例として、集水域の土地利用が住宅地が主である地点3および山林が主である地点9の結果を、図1, 2に示す。

住宅地が主体の地点3では、流量の変動パターンは降雨量と類似しているが、水質のピークは流量のピークより早く現れ、流量の少ない時に濃度が高くなる傾向が見られる。その結果として、負荷量の変動パターンは流量と同様になっている。一方、山林が主体の地点9では、基底流量があり、流量の変動パターンは降雨量とは異なって、ゆっくりと増加し

ている。水質は、全般的に地点3より低濃度で、ほぼ流量に連動して変化しており、その結果、負荷量も流量、水質と同様のパターンを示している。このような、地点間の流出特性の相違は、山林が主体の地点9の集水域では、住宅地が主体の地点3の集水域より、雨水の浸透能、地下水涵養能が高いことを反映しているものと思われる。

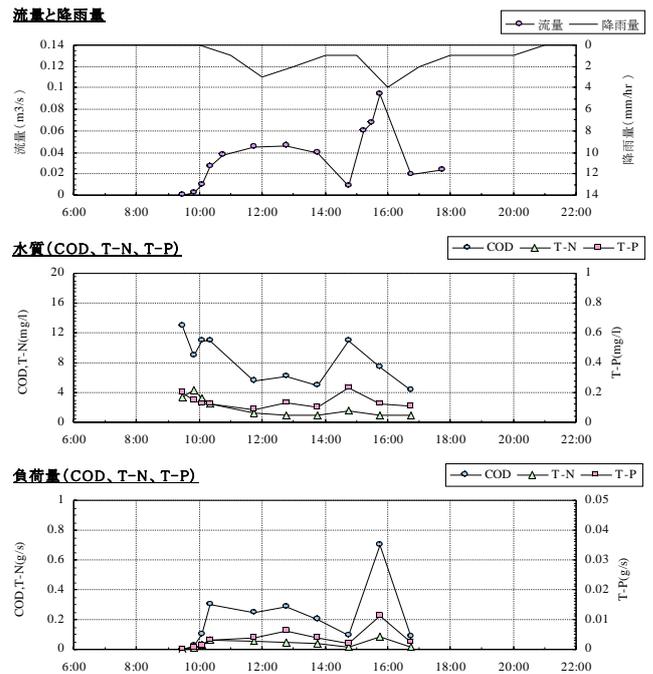


図1 流量・水質調査結果（③住宅地：佐倉白銀ニュータウン）

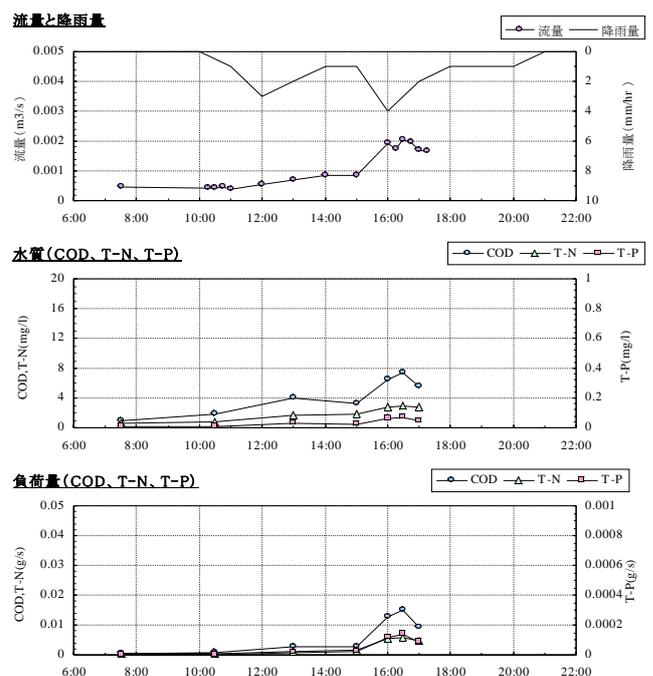


図2 流量・水質調査結果（⑨山林：天辺地区）

(3) 汚濁負荷原単位

実測調査結果から算出したCOD, T-N, T-Pの負荷原単位を表2に示す。

主な土地利用形態ごとの原単位を平均値で見ると、CODでは、緑地・公園<山林≒住宅地<市街地の順、T-Nでは、緑地・公園<住宅地<山林<市街地の順、T-Pでは、山林<緑地・公園<住宅地<市街地の順になっている。調査地点間の値のばらつきは、市街地で小さく、住宅地、山林で大きい。山林では、COD, T-Nの原単位が住宅地より大きい地点もあり、その理由として、斜面林のため勾配が大きく、表面流出が大きいこと、また、畑地の影響などが考えられる。緑地・公園は、全土地利用形態の中で、COD, T-Nの原単位が最も小さく、降雨負荷分を除いた、土地利用そのものからの流出負荷は、COD, T-Nについては負の値となり、浄化機能があるとみられる。

今回の調査で得られた原単位を、既往調査および文献の値とともに図3～5に示す。

本調査の原単位は、全水質項目において既往調査の範囲内にある。また、水田、畑地、市街地等の原単位は、ばらつきが大きく、地域や調査によって大きく異なっている。

本調査と印旛沼の第4期湖沼水質保全計画（湖沼計画）での値を比較すると、以下のことが分かる。

- ・本調査の「市街地」は、湖沼計画の「市街地等」より約3倍大きい。

表2 本調査結果による面源負荷原単位（単位：g/ha/日）

（カッコ内は降雨による負荷を差し引いた場合）

主な土地利用	市街地	住宅地	山林	緑地・公園	降雨
地点数	2	5	3	1	1
COD	平均	136 (58.8)	124 (46.9)	65.7 (-11.3)	77.0
	最大	395	244	—	—
	最小	85.5	36.9	—	—
T-N	平均	29.1 (3.8)	56.0 (30.7)	6.9 (-18.4)	25.3
	最大	39.9	82.4	—	—
	最小	22.7	3.9	—	—
T-P	平均	3.1 (2.8)	0.9 (0.6)	1.2 (0.9)	0.3
	最大	8.0	2.1	—	—
	最小	0.9	0.1	—	—

- ・湖沼計画での「市街地等」の原単位は、本調査の「住宅地」とほぼ同じ値となっている。
- ・降雨の原単位はほぼ同程度である。
- ・山林では、3地点のうち2地点において、全水質項目で湖沼計画より大きくなっているが、残り1地点の原単位は、湖沼計画とほぼ同じ値である。

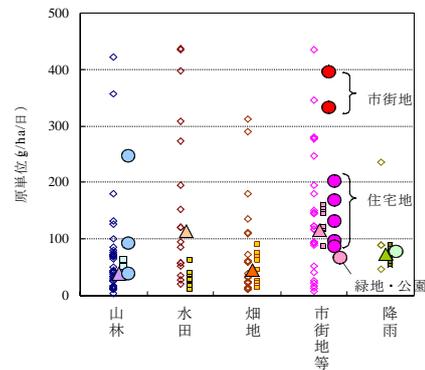


図3 COD原単位

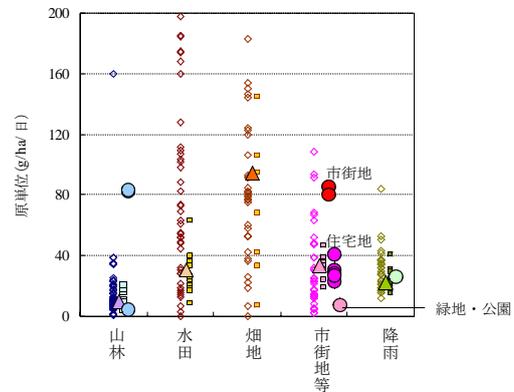
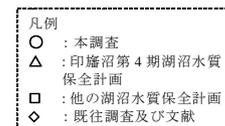


図4 T-N原単位

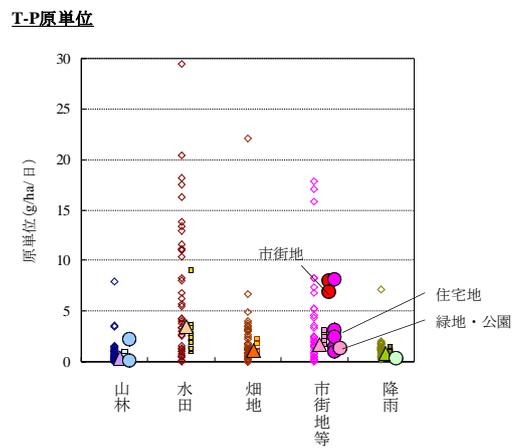


図5 T-P原単位

湖沼計画では、山林、畑地、水田以外の土地を「市街地等」として一括して扱っているが、「市街地」が多い地域と「住宅地」が多い地域とでは、原単位がかなり異なるため、原単位法による負荷量算定の精度を向上させるためには、今後、「市街地等」の細分化を検討する必要がある。

今回の調査では、できるだけ特定の土地利用区分が多い地域を選び、土地利用による排出負荷原単位の違いを明らかにしようと試みたが、実際には、どの地域も複数の土地利用区分が混在しているため、本調査で得られた原単位を使用する際には、調査対象集水域の土地利用状況を考慮することが必要である。

また、今回の調査結果は1降雨のみの結果であることから、今後、異なる条件での調査事例を増やし、データの充実を図る必要がある。

3・2 堆積物の性状調査

(1) 先行降雨の状況

調査日前日の1月27日(38mm)、5日前の1月23日(21mm)、7日前の1月21日(4mm)、8日前の1月20日(1mm)、9日前の1月19日(9mm)に降雨があった。

* ()内は、アメダスによる佐倉の降水量

(2) 堆積物の性状

分析結果等を表3に示す。

採取試料の性状は、堆積しやすい、粒径の比較的大きな砂が主体で、地点によって、ミズワタ、泥、礫が加わったものとなっている。

強熱減量は、地点1,2を除くと、2~7%程度で、それほど高くはないが、粒径の小さな泥を含む試料で高めとなっている。地点1,2では、ミズワタ(糸状細菌)を含むため、「堆積物」というよりは、「付着物」がかなりの割合を占めていて、それぞれ約27%、9%と、他の地点より高くなっている。窒素、りんについても、ほぼ同様の傾向がみられる。なお、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素は水に移行しやすいことから、これらの堆積物では、ケルダール窒素(K-N)含有量は全窒素(T-N)含有量にほぼ等しいと見なせる。

K-N、T-Pの含有量を、主な土地利用形態ごとに分類して表4に示す。

堆積物中の窒素、りん含有量は、主な土地利用形態ごとの平均値で見ると、山林<緑地・公園≒住宅地<市街地 の順になっており、人為的な影響の大小が反映されていると考えられる。また、本調査の住宅地での平均値を他の調査例(表5)と比較すると、窒素は、文献2<本調査住宅地<文献3 の順、りんは、文献3<文献2<本調査住宅地の順となっているが、オーダーとしては同程度であり、本調査の住宅地における堆積物中の窒素、りん含有量は、市街地のものとしては標準的な値と考えられる。

表3 市街地等堆積物調査結果(試料採取日:2003年1月28日)

主な土地利用形態	地点番号	調査対象地区名	試料採取地点	強熱減量 (%)	ケルダール窒素 (mg/g)	全りん (mg/g)	採取試料の性状
市街地	1	JR佐倉駅周辺(錦木町二丁目)	排水路(高崎川流入直前)	26.6	10.95	3.37	砂泥;ミズワタ多い
	2	JR佐倉駅周辺(表町三丁目)	排水路(高崎川流入直前)	8.9	4.84	1.83	砂泥;ミズワタを含む
住宅地	3	佐倉白銀ニュータウン(谷津堀調整池)	調整池内(排水流入口①付近)	5.5	1.31	0.63	砂泥;黒色,硫化水素臭
	4	佐倉白銀ニュータウン(谷津堀調整池)	調整池内(排水流入口②付近)	2.4	0.45	0.50	砂
	5	大崎台団地(大崎調整池)	排水路(調整池流入直前)	2.3	0.41	0.35	砂
	6	松ヶ丘団地	排水路(集水域流末付近)	3.2	1.16	0.58	砂泥
	7	みどり台団地(みどり台調整池)	雨水ます(調整池流入直前)	1.9	0.21	0.35	砂礫
森林	8	下勝田地区	水路	2.0	0.09	0.12	砂
	9	天辺地区	水路	5.0	0.70	0.31	砂泥
	10	馬渡地区	水路	4.7	0.74	0.25	砂泥
緑地・公園	11	白銀地区	排水路(集水域流末付近)	6.9	0.71	0.42	砂泥

注)分析値は、105℃乾燥試料に換算した値

表4 主な土地利用形態ごとの堆積物中の窒素，りん含有量

主な土地利用形態	K-N (mg/g)			T-P (mg/g)			データ数
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
市街地	4.84	10.95	7.90	1.83	3.37	2.60	2
住宅地	0.21	1.31	0.71	0.35	0.63	0.48	5
緑地・公園	—	—	0.71	—	—	0.42	1
山林	0.09	0.74	0.51	0.12	0.31	0.23	3

表5 雨水ます堆積物等の調査事例

試料	T-NまたはK-N (mg/g)			T-P (mg/g)			データ数
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
雨水沈殿槽堆積物 ²⁾	0.34	0.53	0.41	0.29	0.44	0.35	3
雨水ます堆積物 ³⁾	0.11	5.20	1.06	0.05	0.55	0.19	6

2) (財)千葉県環境財団：平成13年度雨水沈殿槽による負荷削減効果調査報告書（2002）

3) 和田安彦，三浦浩之，長谷川健司：都市域の堆積汚泥の含有負荷特性とその定量化(2)，下水道協会誌，27，74（1990）

本調査では，試料採取日の直前にかんがりの降雨があったため，堆積しやすい粒度の大きな成分のみを採取した可能性も考えられるが，本調査と同様の地域（佐倉市内の市街地）で行われた，文献2の調査結果をみると，先行降雨の影響が最も小さい時（先行無降雨日数13日）に採取した堆積物中の窒素，りん含有量が最大となっているものの，その傾向は顕著なものではなく，また，その最大値も本調査の住宅地における平均値より小さいことから，先行降雨が本調査の結果に与えた影響はそれほど大きくはないと推測される。

密集市街地の地点1,2の堆積物（付着物）は，ミズワタを含むため，窒素，りん含有量も高く，平均値で窒素が住宅地堆積物の11倍，りんが5.4倍となっている。そのため，これらが剥離，流出した場合，その量によっては，無視できない汚濁負荷の供給源となる可能性がある。

（3）市街地の堆積物除去による窒素，りん除去量の推定

本調査では，堆積物中の窒素，りん含有量の測定にとどまり，堆積量までは把握できなかったが，仮に堆積物除去量を設定し，それによる窒素，りん除去量を試算すると，以下のような結果となる。

・堆積物除去量：文献2と同じ雨水沈殿槽（幅30cm×長さ180cm×深さ55cm，容量297ℓ）を設置し，

同量の堆積物を除去したと仮定すれば，乾燥重量で， $(5617\text{g}/3\text{か月})/3.0122\text{ha} = 20.72\text{g}/\text{ha}/\text{日}$

- ・堆積物中窒素含有量：0.71mg/g（本調査の住宅地堆積物の平均値）
- ・堆積物中りん含有量：0.48mg/g（本調査の住宅地堆積物の平均値）
- ・窒素除去量： $0.71\text{mg}/\text{g} \times 20.72\text{g}/\text{ha}/\text{日} = 0.0147\text{g}/\text{ha}/\text{日}$
- ・りん除去量： $0.48\text{mg}/\text{g} \times 20.72\text{g}/\text{ha}/\text{日} = 0.0099\text{g}/\text{ha}/\text{日}$

これらの除去量を，印旛沼の第4期湖沼水質保全計画で使用した市街地等の排出負荷原単位と比較すると，窒素が33.5g/ha/日の0.048%，りんが1.7g/ha/日の0.58%に過ぎない。従って，このような対策は市街地の面源負荷対策としては不十分であり，沈殿槽の容量を大きくして滞留時間を長くするか，流出しやすい溶解性成分や微小懸濁成分による排出負荷を削減できる対策の採用が必要である。

千葉県が我孫子市湖北台で行っている，初期雨水を貯留し，下水道終末処理場で処理する対策では，1降雨当たりの除去負荷量は，CODで242～2367g/ha（平均910g/ha），T-Nで47.5～317g/ha（平均167g/ha），T-Pで6.96～73.8g/ha（平均27.7g/ha）となっており⁴⁾，平均値は，それぞれ湖沼計画の市街地等面源負荷原単位の7.9日

分, 5.0 日分, 16.3 日分に相当していて, かなりの除去効果が期待できる。この対策においては, 沈殿しやすい堆積物だけでなく, 流出しやすい溶解性成分や微小懸濁成分も取り込めるため, 効果は大きい。が, 広い範囲をカバーするには, コスト面で課題が残ると思われる。

市街地(住宅地)において比較的实施しやすく, ある程度の効果が期待できる堆積物除去対策としては, 雨水調整池内の堆積物除去が考えられる。

謝辞

本調査の実施にご協力を頂いた, 環境省水環境部水環境管理課, 千葉県水質保全課湖沼浄化対策室,

佐倉市, パシフィックコンサルタンツ株式会社, 財団法人千葉県環境財団の方々に感謝いたします。

文献

- 1) 千葉県: 非特定汚染源負荷削減計画策定調査(2003)
- 2) (財)千葉県環境財団: 平成 13 年度雨水沈殿槽による負荷削減効果調査報告書(2002)
- 3) 和田安彦, 三浦浩之, 長谷川健司: 都市域の堆積汚泥の含有負荷特性とその定量化(2), 下水道協会誌, 27, 74 (1990)
- 4) 千葉県: 湖沼非特定汚染源対策強化実証調査(2002)