

河川環境における栄養塩類（窒素・磷）の動向

— 中 川 —

Estimation of Nutrient Amounts in NAKAGAWA River

岡崎 勉 新井 妥子 高橋 基之 蓮 沼 弘行
山川 徹郎 粕谷 敏明* 森田 善一**

Tsutomu Okazaki, Yasuko Arai, Motoyuki Takahashi,
Hiroyuki Hasunuma, Tetsurou Yamakawa,
Toshiaki Kasuya, Zen'ichi Morita

1 はじめに

埼玉県内を流下する新河岸川、中川及び荒川等は東京湾へ流入しているが、閉鎖性水域である東京湾では流域の関係7都県市が協調して二次汚濁防止のため富栄養化対策指導指針を策定し、窒素(N)・磷(P)の削減指導等の発生源対策の充実を図るなど富栄養化対策が推進されている。このようなことから、本県から流出する栄養塩類の流出状況を把握することは、発生源対策の一層の推進を図る上でたいへん重要である。また、河川に排出されたN・Pに関する調査は小河川では行われているが、その挙動を捉えるには種々の要因が複雑に絡むため困難な面も多く、水系全体として行われた例は少ない。

既に新河岸川における栄養塩類(窒素・磷)の動向については報告¹⁾したが、今回は中川水系を經由して埼玉県から流出するN・Pの総量を把握するとともに、形態別N・Pの流下過程の変化等の挙動を調査し、併せて流域で発生する汚濁負荷量等の既存データを利用し中川水系における栄養塩類の流出状況を検討したので報告する。

2 中川水系の概要

中川は、図1に示すとおり羽生市羽生(上流端)か

ら東京湾までの河川延長84.4km、流域面積986.6km²の一級河川であり、県北・東部をほぼ南北に流下している。中川の諸元を表1に示す。また、新槐堀川、手子堀川、午の堀川、五霞落川、倉松川、大落古利根川、新方川、元荒川、圀川、大場川及び綾瀬川等の一級河川が合流するとともに、用水路、悪水路、下水路及び排水路等が多数合流している。この他に、権現堂調節池や江戸川に合流する幸手放水路・三郷放水路等がある。

本調査に関係する自治体は茨城県の五霞村、埼玉県の熊谷市や羽生市を始めとし八潮市や三郷市までの県東部を中心に36市町村に及んでいる。

中川は関東平野のほぼ中央部にあって、水田地帯を流下しているが、人口密集地域の都市部を通過する多くの支川の合流等によって水質汚濁も著しく、江戸川(新中川経由)又は中川放水路を經由して東京湾へ流入している。また、1993年度の水質²⁾をみると、BODの年度平均値は最上流の道橋で9.4mg/lと高いが、行幸橋から潮止橋までは5.0~6.5mg/lの範囲であり大きな変化はなかった。水質環境基準の類型はC・ハ(BOD 5mg/l)に指定されており、適合割合は49%で前年度と同様であった。

なお、本調査前に2回の予備調査を行ったところ、中川の特徴は次のとおりであった。

*現西部環境管理事務所, **現東部環境管理事務所

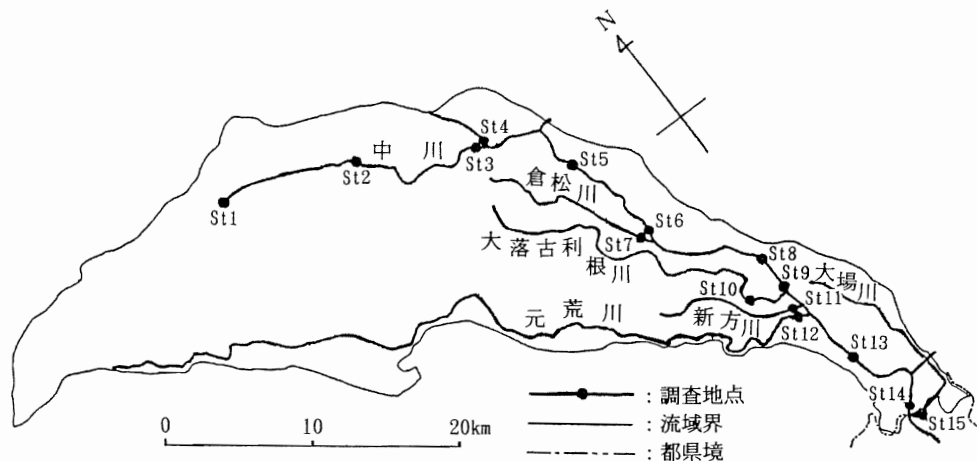


図1 調査地点等の概要

表1 新河岸川の諸元

河川延長	約 84.4km
流域面積	約 986.6km ²
流域人口(1992年度)	約 148万人
下水道処理人口(1992年度末)	約 37万人
合併処理人口(1992年度末)	約 55万人

- ① 中川は特定の水源を持たず、上流から下流まで平野部を流下しており、農業排水が比較的多い。
- ② 中川の支川のうち比較的大きい大落古利根川、新方川及び元荒川の合流によって、下流域での流量の増加が著しい。
- ③ 元荒川合流後の下流域の中川では潮の干満による逆流が認められ、大落古利根川等の支川に対しても相当の影響があると推定される。
- ④ 水質は最上流での汚濁が著しいが、流下途中でやや低下した後、下流域でわずかに上昇する。
- ⑤ これらのことから、負荷量の流下変化は上・中流域で漸増し、下流域で急激な増加・変動が推定される。

3 調査方法

この調査は、(1)流下調査、(2)日変動調査、(3)底質調査から成っておりこれらの内容は次のとおりである。

(1) 流下調査

調査地点等な概要を図1に示す。効率的な調査を実施するため、中川の汚濁の程度や潮の干満による影響(以下、感潮影響という。)の範囲等流況の概略につ

いて予備調査を行い、河川起点(羽生市)～潮止橋間の本川9地点及び中川への影響が大きいとみられる支川5地点の計14地点を選定した。また、中川は多くの支川を有しており、その全てを調査できないため、本川を主体に行った。

権現堂川(St4)は、利根川と中川を結んでおり、洪水時の調整池としての役割を有しているが、4回の調査時には中川への水門が閉鎖されていたため、採水等の調査を行わなかった。なお、このような他の河川と連絡している放水路は、St4・5間の幸手(中川)放水路が、St13・14間に三郷放水路及び綾瀬川放水路があり、いずれも主として洪水時に流水が調整されることになっており、通常は放流されないものである。したがって、これらの放水路はこの4回の調査時には水質等に対してほとんど影響をを与えていないものと考えられる。

予備調査の結果等から、調査回数は、季節的な変化を把握できるように1993年8月、11月、1994年2月、4月の4回とし、天候の比較的安定している日を選定した。調査方法は、可能な限り流下時期を考慮して上流側から下流側へ順に行った。現地ではDO、ECの測定を行うとともに流量を観測し、室内ではpH、BOD、COD、SS、T-N、S-T-N、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、Org-N、T-P、S-T-P、PO₄³⁻-P、Cl⁻の計17項目を測定した。水質等の測定方法は表2のとおりである。

(2) 日変動調査

日間変動を把握するため、汚濁の影響が一般的に冬期に上昇すること等を考慮し、1993年1月20日9時頃～21日7時頃の間、ほぼ3時間毎、計8回の調査を行った。

表2 水質等の測定方法

1	pH	JIS K 0102 12
2	EC	JIS K 0102 13
3	BOD	JIS K 0102 21
4	COD	JIS K 0102 17
5	SS	JIS K 0102 14.1
6	DO	隔膜電極法
7	T-N	昭和46年環境庁告示第59号付表10
8	S-T-N	ガラス繊維ろ紙(GF/C)でろ過した試料をT-Nと同様に分析した。
9	NH ₄ ⁺ -N	インドフェノール青吸光度法
10	NO ₂ ⁻ -N	ナフチルエチレンジアミン吸光度法
11	NO ₃ ⁻ -N	イオクロマトグラフ法
12	Org-N	[T-N] - [NH ₄ ⁺ -N] - [NO ₂ ⁻ -N] - [NO ₃ ⁻ -N]
13	T-P	昭和46年環境庁告示第59号付表11
14	S-T-P	ガラス繊維ろ紙(GF/C)でろ過した試料をT-Pと同様に分析した。
15	PO ₄ ³⁻ -P	モリブデン青吸光度法
16	Cl ⁻	モール法
17	流量	JIS K 0094 8.3

調査地点は、ほぼ最下流地点の八条橋 (St13, 感潮水域) とし、水質等の測定項目は(1)に準じた。

(3) 底質調査

試料採取前16日間ほぼ無降雨で、流況の比較的安定していた1993年10月25日に1回のみ、中川本川6地点 (St 1, 3, 6, 9, 13, 14) について底泥を採取し、乾燥減量 (TS)、強熱減量 (VTS)、CODsed、T-N及びT-Pを測定した。底泥の採取はエクマンバージ採泥器によって行い、底泥の測定方法は「底質調査方法」に準じた。なお、主として生活排水や産業排水等に由来する懸濁物質が河床に堆積しているものと考え、試料調整として砂利や砂質部を除く操作を行った後に測定した。

これらの結果と公共用水域水質測定結果²⁾等の既存データによって水質や負荷量変動を検討し、栄養塩類の流出状況等を把握した。

4 結果及び考察

4・1 水質の流下変化

4・1・1 全窒素

中川のN等の流下調査の結果を表3に示す。

Nは、夏期に全川を通じて2.7~3.6mg/lと低値で安定していたが、冬期では6.6~13.5mg/lと高くなりしかも変化が大きかった。特に冬期の行幸橋(St3)までの上流域ではこの傾向が強かった。

Nは四季を通じて上流域で高い傾向があり、また、

冬期には上・下流とも高い傾向であった。また、庄内橋 (St6) までの上流域では徐々に低下しているが、倉松川 (St7) 合流後の豊橋 (St8) ではやや上昇する傾向を示していた。さらに、秋期を除き弥生橋 (St9) から下流域では水質変動がほとんどなく安定していた。これらの変動の傾向は、Pについてもほぼ同様に認められた。

各調査地点を上流から下流まで詳細にみると、調査起点の向谷橋 (St1) では3.2~9.2mg/lだったが、道橋 (St2) や行幸橋 (St3) では3.2~13.5mg/l、3.6~11.0mg/lとなり、それぞれ1.0~1.5倍、1.1~1.2倍にもなっていた。これは、St2の上流では新槐堀川及び手子堀川、St3の上流では午の堀川がそれぞれ合流していることからこれらの支川の影響が大きいのと思われる。これらの3支川は流域面積が最大の新槐堀川でも約25km²とそれぞれ大きくないなどのため、3支川とも調査対象としなかった。しかし、中川上流域の水質の流下変化に相当の影響を及ぼしていることがわかった。

天神橋 (St5) と庄内橋 (St6) ではそれぞれ3.1~6.6mg/l、3.0~6.6mg/lであり、流量 (冬期を除く。) もほとんど変化がなかった。これは、この間に流入する支川は、中川の農業用排水路が数本あるのみで大きなものがないためである。

St6の直下流では倉松川 (St7) が合流しているが、中川上流域では比較的大きな支川である。Nは3.4~9.4mg/lと中川本川と同等以上のN濃度であったが、流量は0.39~2.92m³/secで本川の0.10~0.13倍のため、さほど大きな影響は与えないものと考えられる。このため、約10km下流の豊橋 (St8) では3.0~8.0mg/lとほとんど上昇していなかった。弥生橋 (St9) でも2.7~7.8mg/lとやや低下するものの、St8と同等であった。

St9の直下流では、大落古利根川 (St10)、新方川 (St11) 及び元荒川 (St12) の3支川が相次いで合流しており、Nはそれぞれ2.7~8.9mg/l、3.4~7.7mg/l、3.0~7.4mg/lであった。特にSt10の冬期・春期のN濃度が高くなっていたが、3支川のN濃度は中川本川とほぼ同等であった。また、秋期の低流量の時に、St11でわずかに逆流が認められていることから、この3支川の合流点付近まで感潮影響が及んでいるものと考えられる。3支川合流後の八条橋 (St13) では、2.7~7.5mg/lであった。これは、支川合流前のSt9のNと同等レベルであり、3支川合流後のNにほと

んど影響を与えていないと考えられる。

最下流地点の潮止橋 (St14) では3.2~7.8mg/ℓであり、直上流のSt13に対し僅かに上昇する傾向があると考えられる。St14の直下流では大場川 (St15) が合流している。Nは4.5~16.3mg/ℓの範囲であり本川に比べて相当高かったが、流量を比べると本川の0.11~0.27のためさほど大きな影響ではないと考えられる。

上記のことから中川のNを上流から下流までを季節毎にみると、夏期に2.7~3.6mg/ℓの範囲でたいへん安定していたが、St3とSt14において直上流の地点に対し約10~20%上昇していたことが特徴的であった。

冬期には6.6~13.5mg/ℓで、St2で最も高く次いでSt3、St1の順であった。St5及びSt6で最低の6.6mg/ℓだったが、St7合流後のSt8では1.2倍の8.0mg/ℓに上昇した後St13まで緩やかに低下した後、St14ではわずかに上昇していた。これより、中川上流域のNの汚濁が進行していること及び倉松川の汚濁寄与が比較的大きなウエイトを占めていることがわかる。なお、秋期には3.8~6.9mg/ℓであり、春期には4.4~6.8mg/ℓであり、ほぼ夏期及び冬期の間中型の変化をしていた。

4・1・2 形態別窒素

季節毎の形態別Nの割合を本川全川の平均でみると、夏期はNO₃⁻-Nが最も多く52%、次いでOrg-Nが29%、NH₄⁺-Nが17%、NO₂⁻-Nが最も少ない2%となっていたが、冬期はNH₄⁺-Nが最も多く65%、次いでNO₃⁻-Nが17%、Org-Nが17%、NO₂⁻-Nが最も少ない1%となっていた。これは、NH₄⁺-NからNO₃⁻-Nへの硝化反応が、夏期の高水温によって活発なためと考えられる。

また、上流から下流までの構成割合の変化をみると、NH₄⁺-Nが比較的速やかに低減し、Org-Nがこれより緩やかに減少し、さらに、NO₃⁻-Nがやや上昇する傾向を示していた。また、T-Nも下流ほど全般的に低下している。これは、季節や地点によって硝化反応の速度の違いはあるものの、下流に行くにつれて硝化・脱窒が進行するためとみられる。

なお、夏期のSt3においてはSt2と比較してOrg-Nの割合が6%から42%に大きく上昇しており、この流域にOrg-Nの比較的大きな発生源が存在するものとみられる。St3から下流では、この割合が漸減しており中川上流域の形態別Nの変化をみる上で注目すべき点である。

また、St14においてもSt13と比べてNH₄⁺-Nの割合が8%から27%へ上昇していたが、この時は流向が逆流のため、St14の下流域に大規模なNH₄⁺-N発生源があるものとみられる。

また、S-T-Nの割合は全川の平均で77% (夏期) ~93% (秋期) であり、季節によらずNのほぼ80~90%が溶存態であった。

このように、N含有の汚濁物質は大部分が溶存しており、夏期にはその多くがNO₃⁻-Nであり、冬期にはNH₄⁺-Nが卓越していた。

4・1・3 全 燐

中川のP等の流下調査の結果をN等と共に表3に示す。

Pは、夏期に全川を通じて0.16~0.46mg/ℓと低値で安定していたが、冬期では0.42~1.34mg/ℓと高くなりしかも変化が大きかった。Nの場合と同様特に冬期・秋期のSt3までの上流域ではこの傾向が強かった。

PはNと同様、四季を通じて上流域で高い傾向があり、また、冬期には上・下流とも高い傾向であった。また、St6までの上流域では徐々に低下しているが、St7合流後のSt8ではやや上昇し、しかも変動がNと比べて大きい傾向を示していた。

調査地点を上流から下流へと詳細にみると、St1では0.22~0.98mg/ℓだったが、St2やSt3では0.46~1.34mg/ℓ、0.28~0.88mg/ℓとなり、それぞれ2.1~1.4倍、1.3~0.9倍になっていた。これは、St2・3の上流では新槐堀川や午の堀川等がそれぞれ合流していることから、Nの場合と同様これらの支川の影響が相当大きいものと思われた。

St4は、Nと同様の理由で採水等の調査を行わなかった。

St5とSt6ではそれぞれ0.14~0.42mg/ℓ、0.15~0.67mg/ℓであり、流量 (冬期を除く。) もほとんど変化がなかった。これは、この間に流入する支川が、Nの場合と同様に大きなものがないためである。

St6の直下流では比較的大きな支川であるSt7が合流している。Pは0.31~0.78mg/ℓと中川本川よりやや高いが、流量は本川の10%程度のため、さほど大きな影響は与えていないものと考えられる。合流後のSt8では0.20~0.55mg/ℓと僅かに上昇していた。St9でも0.20~0.48mg/ℓでありSt8と同等であった。

St9の直下流では、St10、St11及びSt12の3支川が

相次いで合流しており、Pはそれぞれ0.13~0.54mg/ℓ、0.26~0.54mg/ℓ、0.19~0.54mg/ℓで中川本川と同レベルであった。なお、冬期の3支川のNが同じ値であることから、各支川とも逆流した本川の水槐が計測されたものとみられる。

3支川合流後のSt13では、0.16~0.56mg/ℓであった。これは、支川合流前のSt9のPとほぼ同レベルであり、3支川合流後のPに大きな影響を与えていないと考えられる。

最下流地点のSt14では0.18~0.52mg/ℓであり、直上流のSt13と同程度と考えられる。

St14の直下流では支川のSt15が合流している。Pは0.30~0.82mg/ℓの範囲であり本川に比べて相当高かったが、本川の流量の数分の1のためさほど大きな影響ではないと考えられる。

上記のことから中川のPについて、上流から下流ま

でを季節毎にみると、夏期に0.16~0.46mg/ℓの範囲で比較的安定し全般的に低下していたが、St2、St8とSt14において直上流の地点に対しそれぞれ2.1倍、1.2倍、1.1倍に上昇していたことが特徴的であった。これより、支川を含む中川上流域、倉松川及び中川最下流域の汚濁寄与の割合が大きいことがわかった。冬期は0.42~1.34mg/ℓで、Nと同様にSt2で最も高く次いでSt3で、St1の順であった。St5で最低の0.42mg/ℓだったが、St6では1.6倍の0.67mg/ℓに上昇した後St9まで緩やかに低下し、St13では1.2倍に上昇していた。これより、中川上流域のPの汚濁が進行していること及び元荒川等の3支川の汚濁寄与が比較的大きなウエイトを占めていることがわかる。

秋期には0.14~0.66mg/ℓであり、春期には0.28~0.98mg/ℓであり、ほぼ夏期及び冬期の中間型の変化をしていた。

表3 流下調査の結果

調査日	項目	地点名	採水時刻	気温	水温	流向	色相	臭気	透視度	流量	EC	pH	DO	BOD	COD	CL	SS	NH4-N	NO2-N	NO3-N	T-N	F-TN	Org-N	PO4-P	T-P	F-TP	I-N
5. 8.17 夏期	1	向谷橋(起点)	9:50	24.5	22.5	順	淡灰黄	下水	50	0.205	25.6	7.3	4.4	3.6	5.5	19.9	12.8	0.96	0.11	1.29	3.21	2.56	0.85	0.05	0.22	0.06	2.36
	2	道橋	9:35	22.5	22.0	順	灰茶	下水	20	11.902	25.0	7.1	4.2	7.6	7.3	18.0	36.8	1.39	0.10	1.52	3.21	3.13	0.19	0.13	0.46	0.13	3.02
	3	行幸橋	10:50	25.6	22.4	順	茶濁	下水	29	17.916	22.5	7.1	4.9	2.9	5.0	15.8	44.0	0.37	0.08	1.62	3.58	2.27	1.52	0.04	0.40	0.05	2.06
	5	天神橋	10:50	24.1	23.3	順	弱灰黄	下水	31	19.417	23.1	7.1	5.9	2.6	3.4	15.5	32.8	0.28	0.07	1.56	3.11	2.08	1.20	0.03	0.27	0.04	1.91
	6	庄内橋	11:40	25.0	22.5	順	灰黄	無	29	21.726	23.2	7.1	4.8	2.5	4.9	15.8	30.6	0.28	0.06	1.57	2.95	2.05	1.03	0.04	0.22	0.04	1.91
	7	倉松川	12:50	23.5	22.6	順	灰茶	弱下水	32	2.915	24.5	7.0	2.2	3.0	4.7	16.2	34.0	1.09	0.09	0.89	3.38	2.34	1.31	0.06	0.31	0.07	2.07
	8	豊橋	13:30	24.5	22.6	順	灰茶	無	25	29.103	23.7	7.0	4.6	2.9	6.0	16.1	35.5	0.28	0.06	1.55	3.04	2.05	1.15	0.05	0.26	0.06	1.89
	9	弥生橋	13:45	23.8	22.7	順	灰茶	下水	31	33.214	23.6	7.0	4.4	2.8	5.6	16.7	21.0	0.24	0.05	1.58	2.73	2.08	0.86	0.05	0.20	0.06	1.87
	10	古利根川	13:45	26.5	22.5	順	微灰黄	無	50	20.915	21.5	7.1	8.0	2.1	4.3	16.2	10.4	0.27	0.06	1.78	2.67	2.23	0.55	0.03	0.13	0.04	2.11
	11	新方川	14:50	26.0	23.1	順	灰茶	下水	31	8.897	28.5	7.1	4.8	4.6	6.1	21.8	27.8	0.73	0.11	1.65	3.43	2.73	0.95	0.05	0.26	0.07	2.49
	12	元荒川	15:30	25.5	23.5	順	微灰茶	弱下水	44	10.140	25.5	7.3	8.4	2.2	4.7	19.3	15.5	0.08	0.05	2.31	3.02	2.55	0.58	0.06	0.18	0.07	2.44
	13	八条橋	15:00	25.0	23.0	順	灰黄	下水	50	7.318	25.0	7.2	5.8	1.8	4.5	17.8	11.7	0.23	0.05	1.83	2.70	2.30	0.60	0.05	0.16	0.06	2.10
	14	潮止橋	16:30	24.0	23.1	逆	灰黄	無	38	134.495	26.8	7.2	4.8	2.2	4.7	20.3	13.2	0.64	0.06	1.69	3.15	2.70	0.56	0.06	0.18	0.07	2.59
	15	大場川(終点)	16:45	24.2	23.2	逆	淡灰黄	下水	34	20.004	28.5	7.2	4.9	4.2	6.3	19.5	28.0	1.69	0.07	1.41	4.18	3.42	1.01	0.07	0.30	0.08	3.17
	5. 11.24 秋期	1	向谷橋(起点)	9:45	8.5	10.8	順	微灰黄	下水	33	0.020	36.5	7.4	3.5	10.7	8.7	51.8	16.2	2.89	0.11	0.66	5.30	4.28	1.65	0.09	0.48	0.11
2		道橋	10:25	11.0	9.6	順	微灰黄	弱下水	50	0.698	32.5	7.5	8.8	5.8	6.9	52.8	6.8	4.96	0.12	0.68	6.94	6.73	1.19	0.34	0.66	0.37	5.76
3		行幸橋	11:50	11.0	9.6	順	微灰黄	弱下水	50	1.807	32.5	7.6	8.8	3.0	4.6	40.3	7.9	3.42	0.08	0.60	4.89	4.62	0.79	0.06	0.28	0.07	4.10
5		天神橋	13:00	11.0	11.3	順	微灰黄	下水	48	3.511	31.5	7.6	8.4	2.9	4.3	33.3	12.0	1.97	0.06	1.14	3.82	3.56	0.65	0.02	0.14	0.03	3.17
6		庄内橋	13:55	11.6	11.8	順	微灰黄	下水	49	4.020	27.5	7.5	7.6	3.2	4.1	33.5	11.9	1.72	0.06	1.36	3.75	3.51	0.61	0.02	0.15	0.04	3.14
7		倉松川	14:55	11.4	12.0	順	淡灰黄	弱下水	33	0.458	37.0	7.7	7.6	7.4	6.9	32.0	14.5	3.50	0.11	0.21	4.84	4.48	1.02	0.09	0.35	0.11	3.81
8		豊橋	15:43	9.3	11.3	順	淡灰黄	弱下水	50	4.914	31.5	7.5	6.2	4.0	5.5	34.4	10.4	1.81	0.07	1.46	3.95	3.70	0.61	0.04	0.20	0.06	3.34
9		弥生橋	10:00	9.0	10.4	順	微灰黄	下水	38	5.111	43.7	7.5	6.5	4.4	5.6	33.7	21.5	1.68	0.06	1.49	3.95	3.58	0.72	0.03	0.23	0.05	3.22
10		古利根川	11:45	11.0	11.2	順	微灰黄	下水	50	4.219	48.7	7.5	6.8	2.8	5.0	47.5	7.7	1.35	0.10	2.80	4.84	4.45	0.59	0.05	0.22	0.07	4.25
11		新方川	11:10	11.0	11.6	逆	微灰黄	下水	38	1.335	51.0	7.5	3.8	9.5	8.3	36.7	11.9	3.05	0.15	0.63	5.05	4.48	1.21	0.05	0.49	0.08	3.83
12		元荒川	10:40	10.0	10.7	順	微黄	無	50	2.942	40.0	7.6	8.2	2.3	4.0	33.8	7.1	0.96	0.07	3.32	4.65	4.44	0.29	0.09	0.25	0.10	4.36
13		八条橋	13:30	10.0	12.0	逆	微灰黄	下水	50	9.195	41.4	7.5	6.5	2.3	4.5	34.0	6.4	1.16	0.08	2.65	4.27	4.12	0.37	0.05	0.18	0.06	3.89
14		潮止橋	15:00	9.0	12.8	順	微灰黄	下水	47	36.136	45.4	7.6	5.4	2.6	5.5	38.3	11.1	3.06	0.10	2.10	5.71	5.50	0.45	0.15	0.29	0.17	5.26
15		大場川(終点)	16:20	8.0	12.2	順	微灰黄	下水	22	10.117	49.8	7.6	6.3	4.5	7.8	38.9	24.4	3.71	0.13	1.41	6.15	5.67	0.89	0.07	0.35	0.09	5.26
6. 2.15 冬期		1	向谷橋(起点)	10:05	7.5	6.1	順	灰黄	強下水	23	0.042	31.0	7.3	8.1	32.5	17.4	55.9	29.6	4.95	0.15	2.58	9.18	7.37	1.51	0.05	0.83	0.07
	2	道橋	10:50	8.0	3.9	順	黄褐	し尿	22	0.466	34.5	7.5	7.0	17.7	14.9	62.3	16.7	10.80	0.08	0.96	13.46	12.03	1.62	0.66	1.34	0.71	11.84
	3	行幸橋	12:40	10.5	5.6	順	黄褐	弱下水	23	1.240	34.5	7.6	11.2	14.9	51.6	20.7	7.72	0.09	0.54	10.96	9.46	2.62	1.13	0.88	0.16	8.34	
	5	天神橋	14:00	9.3	5.8	順	黄褐	弱下水	30	2.298	30.5	7.7	13.1	7.9	8.1	42.8	13.7	4.45	0.05	1.18	6.63	5.70	0.95	0.02	0.42	0.05	5.68
	6	庄内橋	14:45	9.8	6.1	順	黄茶濁	弱下水	7	3.951	29.3	7.6	13.8	19.0	18.4	42.4	69.3	2.89	0.06	1.06	6.60	4.41	2.60	0.03	0.67	0.06	4.01
	7	倉松川	13:20	9.1	8.5	順	緑褐	下水	19	0.389	31.0	8.2	15.5	18.8	17.3	37.4	25.7	5.98	0.18	1.08	9.40	7.92	2.16	0.16	0.78	0.17	7.24
	8	豊橋	16:45	7.8	6.4	順	淡黄褐	弱下水	19	4.352	31.0	7.7	11.1	11.4	10.9	44.5	23.0	5.56	0.10	1.20	8.00	7.15	1.15	0.11	0.55	0.12	6.85
	9	弥生橋	10:10	7.1	3.5	順	微灰黄	下水	31	7.247	52.1	7.5	10.6	8.5	9.4	49.5	11.7	5.45	0.11	1.41	7.84	7.10	0.88	0.06	0.48	0.10	6.96
	10	古利根川	12:05	10.0	5.4	順	微灰黄	下水	35	2.917	62.3	7.5	11.0	9.1	9.9	70.3	12.5	6.40	0.12	1.36	8.91	8.17	1.02	0.13	0.54	0.14	7.89
	11	新方川	11:30	9.0	4.4	順	微灰黄	下水	32	7.012	49.3	7.5	9.9	10.0	8.9	46.6	14.5	4.79	0.12	1.84	7.70	6.77	0.95	0.11	0.54	0.12	6.75
	12	元荒川	10:55	8.0	4.2	順	微灰黄	下水	29	10.935	47.9	7.5	9.9	9.5	44.7	13.8	4.34	0.12	1.94	7.40	6.60	1.00	0.12	0.54	0.13	6.40	
	13	八条橋	13:40	11.0	4.8	順	微灰黄	下水	27	50.088	50.8	7.5	10.6	8.4	8.8	49.3	11.0	4.64	0.11	1.86	7.51	6.71	0.90	0.15	0.56	0.19	6.60
	14	潮止橋	16:10	9.3	4.5	逆	微灰黄	下水	32	41.446	47.4	7.5	10.0	7.8	8.6	50.8	10.5	5.25	0.10	1.77	7.78	7.18	0.66	0.17	0.52	0.18	7.12
	15	大場川(終点)	17:20	8.7	6.8	逆	微灰黄	下水	30	5.028	75.1	7.4	6.1	10.3	13.5	82.7	11.3	11.03	0.18	0.88	13.27	12.58	1.18	0.16	0.52		

4・1・4 形態別燐

季節毎の形態別Pの割合を本川全川の平均でみると、懸濁態P (P-T-P)は四季を通じてT-Pの70~80%となっており、季節による差異はほとんどなかった。水質変動の激しい上流3地点を除いても同様の結果であった。

また、上流から下流までの溶存態P (S-T-P)及びP-T-Pの構成割合の変化をみると、P-T-Pが比較的速やかに低減し、S-T-Pがこれより緩やかに減少する傾向を示していた。これは、P-T-Pが沈澱作用によって比較的速く水系から除かれるためと考えられる。なお、St 2、St 8及びSt14では、P-T-Pが特に夏期・秋期に特徴的に上昇していた。これは、当該流域や流入支川に比較的大きなP発生源があるものと思われる。

また、 PO_4^{3-} -PのT-Pに対する割合は全川の平均で19% (冬期)~25% (秋期)であり、S-T-Pの場合では24% (冬期)~33% (秋期)であることから、季節によらず溶存態Pの80%が PO_4^{3-} -Pであることがわかった。

これは、N含有の汚濁物質が大部分溶存しているのに対し、P含有の汚濁物質は大部分懸濁していることがわかった。

4・1・5 その他の項目

BODは、全川を通じて $3.2\text{mg}/\ell$ (夏期の平均)~ $14.6\text{mg}/\ell$ (春期の平均)と大きく変化していた。夏期・秋期には上流域を除いて $4\text{mg}/\ell$ 以下で比較的安定であったが、冬期・春期には上流域の他に中流域のSt 6・St 8等において大きく上昇していたことが特徴的であった。一般に冬期に水質が上昇する傾向があるが、BODは春期にも上昇していた。これは、農業用水路の使用開始時期と春期の調査が重なったことも一因と考えられる。最近では1991年及び1993年にも4月に大きな値となっていた²⁾。BODは、Nとほぼ同様の流下変化を示しており、特に中流域での上昇が特徴的だった。

4・1・6 流 量

各地点の流量をN・P等と共に表3に示す。弥生橋までの上流域では緩やかに増加しており、特に夏季にその傾向が強く出ていた。これは、夏季には豊水期であることや農業用水の流入などのため増加するが、夏季以外では特定の水源を持たない中川の自流水が極端に低下するためと考えられる。

流量は、St 9までの上流では、夏期に $0.21\sim 33.2\text{m}^3$

$/\text{sec}$ と高く安定していたが、冬期では $0.04\sim 7.25\text{m}^3/\text{sec}$ と低くなっていた。また、秋期・春期も冬期とほぼ同様の値であり、かんがい期である夏期のみ水量が豊かであった。

St 9の下流では、St10、St11及びSt12の3支川が相次いで合流しており、流量はそれぞれ $0\sim 20.9\text{m}^3/\text{sec}$ 、 $-1.33\sim 8.90\text{m}^3/\text{sec}$ 、 $2.94\sim 12.2\text{m}^3/\text{sec}$ であった。これらの3支川も本川と同様の季節変動があるとみられるが、流量の変動の様子をみると感潮影響による変動が卓越しており、潮の干満によると考えられる変動が観測された。特に、秋期のSt11では逆流が観測されているが、この時の流量が小さく、測定時刻(11:10)が上げ潮の時間(東京湾・羽田で7:26-13:45、若潮)と重なったためと考えられる。また、St13、St14及びSt15でも逆流が認められ、同様の状況と考えられる。この他の時間・地点では、全て順流だったが、測定時刻と干満の時間がずれているためと思われる。これらのことから、この3支川の合流点付近まで感潮影響が及んでいるものと考えられ、St 9から下流の流量の値は常に潮の干満を考慮する必要がある。

4・1・7 支川の影響

支川の本川への影響をN・P・BODの汚濁負荷量(4回/年の平均)の割合でみると、直上流の本川との合計に対し、St 7ではそれぞれ0.17、0.25、0.23であり、St10ではそれぞれ0.25、0.42、0.36、St11ではそれぞれ0.41、0.49、0.31、St12ではそれぞれ0.39、0.44、0.42、St15ではそれぞれ0.27、0.26、0.30であった。

また、St10~St12の合流によって本川の汚濁負荷量はN3.0倍、P3.0倍、BOD2.2倍になっており、いずれも中川本川の汚濁負荷量を上回っていた。

この3項目の中では項目にほとんど関係なく同様の汚濁寄与であること及び元荒川等の3支川の影響がかなり大きいことがわかった。

次に、支川からの形態別N・Pについてみると、本川での季節変動とほぼ同様であったが、冬期・春期のSt15での NH_4^+ -Nの割合の上昇による増加や冬期のSt 7でのP-T-Pの割合の上昇による増加等が特徴的であった。

4・2 日変動調査

St13における日間変動を表4に示す。当日の潮位を表5に示す。

表4 変動調査の結果（潮止橋）

項目	(天候…前日：曇後雨、当日：曇後雨後曇)							
	13-1	13-2	13-3	13-4	13-5	13-6	13-7	13-8
採水時刻	10:50	13:50	17:00	19:50	22:50	1:45	5:00	8:00
気温 °C	9.8	7.0	4.3	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0
水温 °C	6.5	6.9	7.4	6.8	6.5	6.7	6.2	6.6
流向	順流	順流	順流	逆流	順流	順流	順流	逆流
色相	淡灰黄	淡灰黄	淡灰黄	微灰黄	微灰黄	微灰黄	微灰黄	微灰黄
臭気	弱下水	微下水	弱下水	微下水	微下水	微下水	微下水	微下水
透明度 cm	38	42	45	49	>50	>50	30	36
流量 m ³ /sec	45.48	63.37	33.22	-35.30	35.79	44.30	14.78	-47.92
pH	7.6	7.8	7.8	7.8	7.8	7.7	7.7	7.5
EC mS/m	46.6	46.5	48.1	49.3	47.1	48.8	51.2	49.6
DO	8.9	8.9	8.7	8.8	8.7	7.9	7.0	7.1
BOD	7.1	7.6	8.1	7.7	7.1	7.8	7.8	7.4
COD	7.3	7.4	7.7	7.8	6.9	7.8	7.9	7.8
SS	7.8	8.4	10.0	9.2	7.4	8.4	8.0	8.4
Cl	43.4	43.5	43.9	45.9	43.5	44.3	47.6	45.6
NH ₄ -N	3.97	3.78	4.00	4.05	3.69	4.12	4.28	4.14
NO ₂ -N	0.088	0.093	0.093	0.090	0.095	0.093	0.099	0.101
NO ₃ -N	1.46	1.63	1.61	1.45	1.67	1.52	1.53	1.60
T-N	6.43	6.46	6.73	6.70	6.38	6.71	6.95	6.77
S-T-N	5.95	5.98	6.15	6.20	5.96	6.19	6.42	6.28
Org-N	0.91	0.96	1.03	1.11	0.93	0.98	1.04	0.93
PO ₄ -P	0.056	0.052	0.049	0.055	0.057	0.047	0.062	0.057
T-P	0.32	0.33	0.37	0.35	0.32	0.34	0.40	0.35
S-T-P	0.089	0.083	0.086	0.098	0.093	0.080	0.116	0.092

単位：mg/l (pH及び特記したものを除く)

表5 日変動調査当日の潮位（東京・羽田）

日	時	潮位 [cm]
1994年1月18日	2:25	56
	8:54	174
	15:18	70
	21:00	142
1月19日	2:52	71
	9:21	171
	16:13	70
	21:55	130

1994年1月18・19日はいずれも小潮に当たり、比較的大きな潮位変動があったものとみられる。1月18日15:18から21:00と19日2:52から9:21は潮が上げており、2時間程度の時間遅れを考えると4回目（19:50採水）及び8回目（8:00採水）の調査時に逆流が観測されていることと一致していた。

4・2・1 水質及び流量の変動

中川のほぼ最下流地点のSt13での水質変動は、N・PやBOD等の有機物もほとんど変動が認められなかった。

Nについて詳細にみると、T-Nが平均6.64mg/lであり、その93%がS-T-Nであり、Nの大部分が溶存態として存在していた。また、溶解性成分の内訳をみると、NH₄⁺-Nが最も多く60%、次いでNO₃⁻-Nが24%、Org-Nが15%、NO₂⁻-Nが1%であった。このように、Nについては日間変動がほとんど無く、しかもNH₄⁺-N及びNO₃⁻-Nを主体とする溶存態が大きな割合を占めていることがわかった。

Pについては、T-Pが平均0.35mg/lでほぼ一定であり、その73%が懸濁態であった。また、溶存態Pのうち大半がPO₄³⁻-Pであり、いずれもNの場合と同様日間変動がほとんど認められなかった。

BODでは、平均7.6mg/lでほぼ一定であった。このように、水質がいずれも安定であったのは、中川本・支川の流域が長いことや3つの大きな支川の合流によって水質変動が平滑化されるためと思われる。

Cl⁻では、平均45mg/lでありほぼ一定であったことから、日変動調査の時に2回の逆流を観測しているが、海水の混入はなかったものと思われる。

このように、日変動調査の結果は、冬季の流下調査時のものとほぼ一致していた。

St13での流量は、-47.92~63.37m³/secであり大きく変動していた。St13における流量変動は、上流からの流水のほか、三郷市内にある下水処理場の（中川処理センター、処理人口約65万人、処理能力23.5万m³/日）からの排水も流入しており、流量だけでなく水質・負荷量共に相当の影響を受けていると考えられる。

また、St13では感潮影響による逆流が観測されており、これらの流向変化を考慮して最下流部における1日当たりの流量を把握する必要がある。なお、これらのことから、1日当たりの汚濁負荷量を正確に把握するためには、水質測定よりも流量観測を頻度高く行う必要があると思われる。

4・2・2 流出汚濁負荷量

日間変動調査の結果から中川最下流地点における埼玉県からのN・P等の流出汚濁負荷量を、8回/日の各汚濁負荷量の和として試算した。この結果、N85.8t/日、P4.4t/日、BOD100.7t/日等となった。これらは、水質が一定であることから、流量の変動を反映したもので、4・2・1で述べたように流量をより頻度高く測定すれば、さらに精度良く把握できるものと考えられる。

水質環境情報システム³⁾によると、1992年度における全中川水系で発生する汚濁負荷量は、N18.5t/日、P2.1t/日、BOD51.3t/日と見積もられている。汚濁流達率を「流出汚濁負荷量/発生汚濁負荷量」として試算すると、N4.64、P2.1、BOD1.96となる。この汚濁流達率がかなり大きい理由として、次のことが考えられる。流出汚濁負荷量の算定に当たっては流量の値の精度にやや問題があるものの、それほど大きな差

表6 中川底質調査結果

(1993年10月25日)

地点名		項目	距離 km	TS %	強熱減量 %	CODsed mg/g	T-N mg/g	T-P mg/g	性状	乾燥減量 %
1	本	向谷橋(起点)	0.0	26.0	24.1	105.0	13.53	6.0	砂・ヘドロ	74.0
3	本	行幸橋	19.0	36.3	11.9	42.4	6.02	4.0	砂利・砂	63.7
6	本	庄内橋	34.3	31.5	12.8	48.3	6.13	4.2	砂	68.5
9	本	弥生橋	46.2	35.0	13.5	43.3	6.22	3.9	砂	65.0
13	本	八条橋	52.8	30.7	13.9	54.2	6.39	4.6	砂	69.3
14	本	潮止橋(終点)	60.1	26.0	14.3	51.7	7.20	5.3	砂	74.0

(注) 1 採泥

約16日間ほぼ無降雨の状況下で、流心、右岸、左岸によりエクマンバージ採泥器で採取した混合物である。

2 試料調整

砂質部を除くため、水で洗い出し、2mm目篩通過物をメスシリンダーに入れ、自然沈降させ、上澄液を捨て沈澱物のみをビーカーに入れて、再度攪拌混合し、中層より分取した汚泥を遠沈(1800rpm, 10分間)後、沈澱物を試料とした。

この操作は、堆積物(主にSS)中の濃度を分析するため、砂質による影響を除くために行ったものである。

はなく、発生汚濁負荷量の算定において原単位や除去率等が実態を反映していないこと及び汚濁負荷量の算定漏れなどの可能性が考えられることである。

4・3 底質調査

種々の排水中の懸濁物質が河床に堆積しているものと考え、中川ではどのような性質・量で存在するのか検討するため底質調査を行った。

流量が小さく、流況の安定していた冬期で、しかも約16日間ほぼ無降雨の状態でも、河川水中の懸濁物質に由来するとみられる堆積物は、St1を除き採取できなかった。このため、これらの懸濁物質は砂質部等に付着しているものと考え、これを水洗・分離して堆積物とみなして測定した。

底質調査の結果を表6に示す。中川本川での乾燥減量は64~74%、強熱減量は12~24%、CODsedは42~105mg/g、Nは6.0~13.5mg/g、Pは3.9~6.0mg/gであった。St1が全項目にわたって高いが、最上流の地点なので流量が小さく、汚濁物質が堆積しやすいと考えられる。St1を除くと全川を通じてほぼ一定であった。ただし、最下流地点のSt13・St14ではいずれの項目もやや上昇する傾向を示しており、これは元荒川等の3支川の影響又はSt13の流域内の汚濁発生源の影響が考えられる。

このように、最上流地点では有機物、N及びPが全

て最も高いが、その下流域では急減した後、最上流地点まで緩やかに上昇する傾向であった。

中川へ排出される種々の汚濁物質は、流下するにつれて徐々に増加するが、堆積物として河床に蓄積される割合はかなり低く、その大部分は流水と共に速やかに下流へ移送されるものと考えられる。

5 まとめ

中川における栄養塩類(窒素・磷)の動向について踏査したところ、次のことがわかった。

(1) 埼玉県から中川を経由して流出するN・P等の汚濁負荷量の総量は、1994年1月18日にNで85.8t/日、Pで4.4t/日、BODでは100.7t/日と試算された。

(2) T-Nについては、季節毎の上流から下流まで水質変化から、中川上流域のNの汚濁が進行していること、倉松川の汚濁寄与が比較的大きなウエイトを占めていること及び最下流地点の汚濁が比較的進行していることがわかった。

形態別Nの割合の流下過程での変化は、本川全川の平均でみると、夏期はNO₃⁻-Nが52%、次いでOrg-Nが29%、NH₄⁺-Nが17%などとなっていたが、冬期はNH₄⁺-Nが卓越し65%、次いでNO₃⁻-Nが17%、Org-Nが17%などとなっていた。

なお、BODは、Nとほぼ同様の流下変化を示し

ていたが、特に中流域での特徴的は増加をすることがわかった。

- (3) T-Pについては、全川の水質変化から、支川を含む中川上流域、倉松川及び中川最上流域の汚濁寄与の割合が大きかったことがわかった。

形態別Pの割合は、四季を通じてP-T-PはT-Pの70～80%となっており、溶存態Pの80%が PO_4^{3-} -Pであることがわかった。

P-T-PはS-T-Pに比べて比較的速やかに低減することから、沈澱作用によって比較的速やかに水系から除かれることがわかった。これは、N含有の汚濁物質が大部分が NO_3^- -N(夏期)又は NH_4^+ -N(冬期)の溶存態であるのに対し、P含有の汚濁物質は大部分懸濁態であり、水中での挙動が大きく異なってくるものと思われる。

- (4) 発生汚濁負荷量等の既存データを利用し中川水系における栄養塩類の流出状況を検討したが、汚濁流達率はN4.64, P2.1, BOD1.96と、1よりかなり大きくかけ離れていた。これは、発生汚濁負荷量の算定において使用される一部のデータが実態を反映していないことなどが考えられる。
- (5) 流量は、上・中流域ではかんがい期である夏期のみ水量が豊かで安定していたが、夏期以外では水量が低くなっていた。また、中川では、大落古利根川

等の3支川の合流点付近まで感潮影響が及んでいるものと考えられ、これより下流の流量の測定には常に潮の干満を考慮する必要がある。

- (6) St10～St12の合流によって本川の汚濁負荷量はN3.0倍, P3.0倍, BOD2.2倍になっており、いずれも中川本川の汚濁負荷量を上回っており、この3支川の影響がかなり大きいことがわかった。
- (7) 中川のほぼ最下流地点のSt13での日間変動調査から、N・PやBOD等の有機物もほとんど変動が認められず、流下調査等の冬期の水質の特徴がよく現れていた。また、1日当たりの流量を正確に把握するためには、測定頻度を高く行う必要が認められた。
- (8) 中川へ排出される種々の汚濁物質は、流下するにつれて徐々に増加するが、堆積物として河床に蓄積される割合はかなり低く、その大部分は流水と共に速やかに下流へ移送されるものと考えられる。

参考文献

- 1) 岡部 勉他：河川環境における栄養塩類(窒素・磷)の動向(新河岸川)、埼玉県公害センター研究報告〔21〕, 13-20, 1994
- 2) 埼玉県環境部：平成5年度公共用水域及び地下水の水質測定結果(総括編), 1994
- 3) 埼玉県環境部：水質環境情報システム, 1994