

都市・人,そして川(6)

—都市の変貌と水—

Partnership between city, people and river(6)
—Change in River Environment with Urbanization—



河原能久*

By Yoshihisa KAWAHARA

キーワード：都市, 河川, 水循環,
下水道, 水量, 水質

1. はじめに

都市化の進展による市街地の拡大や人口の高密度化, 生活様式の高度化等に起因して, 都市特有の問題が顕在化してきている。水問題に限っても, 都市型水害の発生, 渇水時の給水安全度の低下, 平常時の河川流量の減少, 公共用水域の水質悪化, 地下水汚染など様々な問題が発生しており, 複雑化している。これらの問題は, 都市の構造や都市生活者の活動そのもの由来するが, 利便性や経済性を追求するあまり, 水循環系を見つめた対策がとられなかったことにも起因する。今後, 空間的, 財政的な制約が強まる中で, 望ましい水循環系を作り上げるためには, 水にかかわる各行政部門の施策を, 健全な水循環システムの構築という視点から再検討し, 体系的かつ効率的に進めることが不可欠である。

本報告では, 都市化の水循環系への影響, 東京都の河川環境の現況を概説した後, 下水道の役割と問題点を述べる。最後に, 都内を流れる野川を例にとり, 下水道の河川環境の変化を考察する。

2. 都市化に伴う水環境の変化

都市化の水循環系に及ぼす影響については多くの報告があるが, ここでは虫明¹⁾による図-1を用いて説明する。

市街地の拡大に伴い, 農地や樹林地等が減少して舗装や屋根などの不浸透面積が増大し, 雨水の浸透機能が低下する。これにより, 河川の平常流量の減少や地下水位の低下が発生する一方, 雨水流出量の増大や洪水の流達時間の短縮化により都市型水害が発生しやすくなる。

生活様式の変化や社会経済活動の増加等により, 水需要が増大し, 不足する水量を流域外から導水することになる。都市生活の基盤を支える水の確保は, 渇水時や大震災時においてとりわけ重大な課題となる。

都市での水使用量の増加は, 排水量の増大と排出される汚濁負荷の増加を意味する。下水道が未整備な場合には, 河川には多量の雑排水が流入し, 水質の悪化が急速に進行する。他方, 下水道の整備により河川への雨水排水が減少する場合には, 河川流量が減少する。また, 水域での水量と水質の変化は生態系の変化を引き起こす。さらに, 河川から原水を取水する水道水の安全性を維持することが一層重要となる。

*建設省土木研究所 河川部都市河川研究室 主任研究員

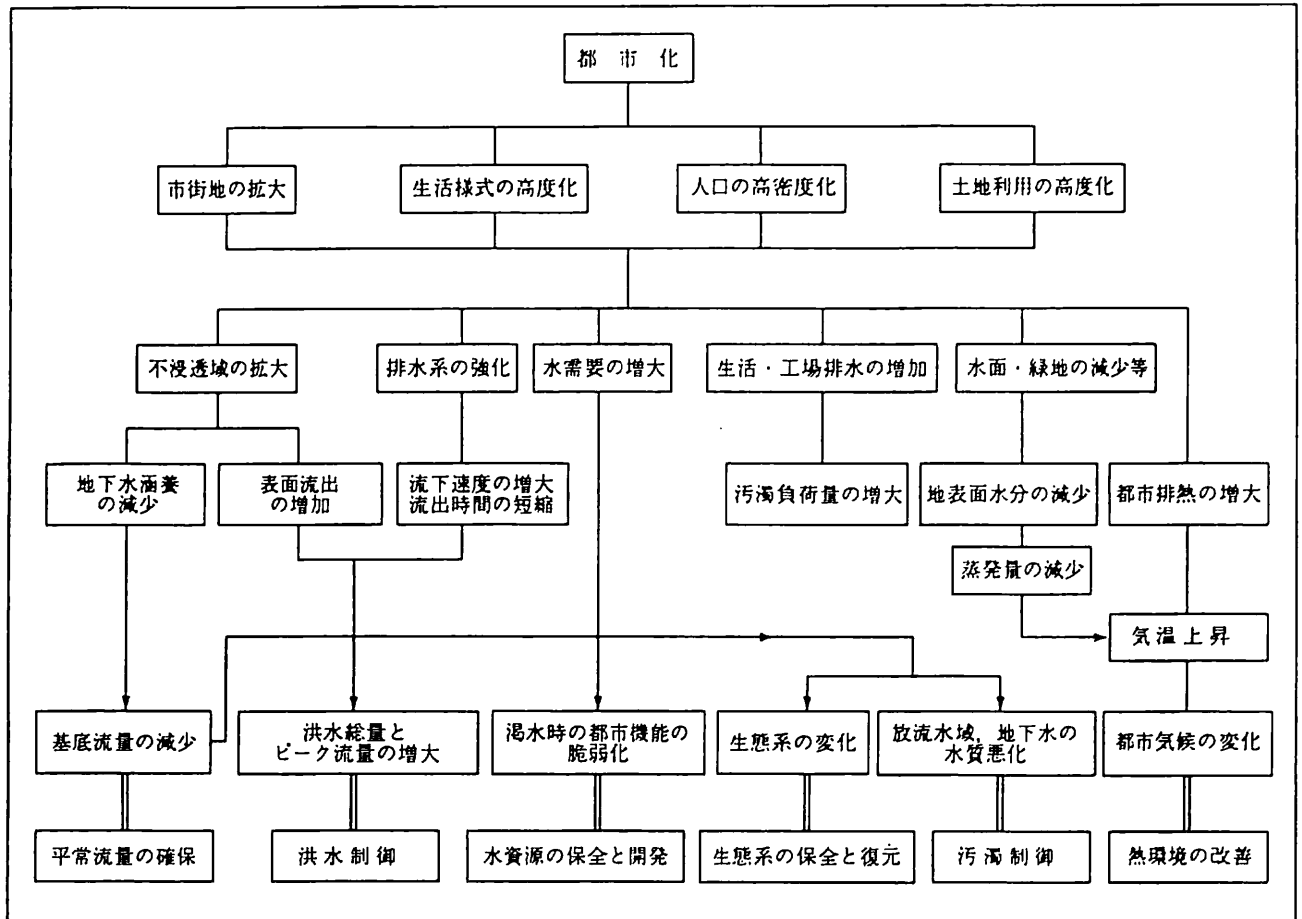


図-1 都市化による水循環系の悪化の過程と課題

河川・用水路の暗渠化や埋立て等により、身近に接することのできる水辺空間が減少する。このため、都市における人と水辺とのかかわりが薄れ、水文化が失われる。また、大規模地震等の災害時に必要な防災用水を確保することが重要な課題となる。

都市化による地表面のコンクリートやアスファルト化、エネルギーの使用量の増大は、水辺空間や緑地の減少による水の蒸発散量の減少と相まって、都市域の高温化（ヒートアイランド現象）を顕在化させる。

このように、都市化に伴う自然の水循環系の変化や人工的な給・排水系の導入の影響は広範囲に及び、非可逆的なものが多い。都市の持続的発展は健全な水循環系の確立なしにはあり得ず、水に関する施策を水循環系の改善という観点から検討することが不可欠である。

3. 都内河川の平常時の姿

東京都の都市河川を例にとり、平常時の都市河川の姿を紹介する。なお、土屋²⁾や飯田³⁾が最近関連する報告を行っているので、ここでは都市河川の水質と親水性等に関する現況を説明する。

東京都は都内の公共用水域の水質測定地点（103箇所の橋）において、昭和59年度から水辺環境総合評価調査を行っている⁴⁾。総合評価に使用する物理的因子は、水質（BOD、透視度、大腸菌数、生物学的水質）、流況（水深、川底の状況、湧水の有無）、水辺の構造（護岸の状況、側道の有無、柵の高さ、水辺へのアクセス、河川敷の有無、緑被率、植生自然度）であり、それらと親水性の観点からの評価とを対比させ、水辺空間の特性を活かした水辺環境の整

表-1 東京都の都市河川の現況

判定項目	状 況						
	BOD濃度 (mg/l) %	0~1.0 7.8	1.1~2.0 6.8	2.1~3.0 8.7	3.1~5.0 27.2	5.1~8.0 23.3	8.1~10.0 11.6
大腸菌群数 (MPN/100ml) %	0~50 0	51~1000 3.4	1000~5000 13.8	5001~ 82.8			
生物学的水質階級 %	貧腐水性水域 7.2	β中腐水性水域 9.5	α中腐水性水域 47.6	強腐水性水域 35.7			
水深 (m) %	0~0.2 13.4	0.21~0.6 28.9	0.61~ 27.7				
川底の状況 %	腐泥・泥 59.2	砂礫 35.0	コンクリート 5.8				
護岸の状況 %	自然 5.8	緑化護岸 31.1	石積 2.9	コンクリート等の護岸 60.2			
側道の有無 %	有り 84.5	無し 15.5					
橋の状況 %	なし 25.2	高さ70cm未満 9.7	高さ70cm以上 65.1				
水辺へのアクセス %	可能 50.5	不可能 49.5					
緑被率 (%) %	0~20.0 52.3	20.1~40.0 21.3	40.1~60.0 12.7	60.1~80.0 8.8	80.1~100.0 4.9		

備に役立てている。表-1は平成4年度の調査結果の一部を示したものである。この表より、河川の水質としてBOD濃度が5mg/l (C類型の基準値)を越える地点が約半数であり、大腸菌数も群数も多く地点で5,000を越えている。河床に泥やヘドロの堆積する箇所が全体の半数以上あり、生物学的水質指標から見ても、さらに水質を改善することが必要な状況である。また、親水性等に関して次のことがわかる。水辺に降りられる地点は全体の約半分となっており、側道(管理用通路を含む)の整備も進んでいるものの、高さ70cm以上のフェンス等が河川沿いに設置されている箇所が多く、身近に親しめる水辺環境とはなっていない。また、植栽のある護岸もかなりあるが、コンクリート護岸は全体の60%を占めており、親水性や景観の観点でも改善の余地が多くなっている。

4. 下水道の河川環境への影響

下水道が公共用水域の水質保全、特に自然環境の回復と保全に果たす役割に注目が集まっている。

水源を確保できない河川では、平常時の流量を確保するために、下水処理場の高度処理水の導入を進めている。東京都では、これまでに多摩川上流処理場から野火止用水、玉川上水、千川上水に、落合処理場から城南3河川(渋谷川・古川、目黒川、呑川)に処理水を導入してきたが、多摩川上流処理場からさらに新河岸川と柳瀬川に、清瀬処理場から新たに奈良橋川、黒目川、落合川に再生水を供給する計画が立てられている。なお、処理水の水質はコイやフナの生息条件であるBOD 8 mg/l以下としている。

下水道の普及は河川において未処理下水の流入による汚濁を削減してきた。しかし一方で、下水処理場からの放流水が河川水に占める割合は増加し、河川環境に大きな影響を及ぼすようになって

きた。BODは、通常、河川の有機物による汚濁の程度を示すものと理解されているが、実際には有機物だけでなくアンモニアにも関係する。アンモニアは硝化菌により亜硝酸、続いて硝酸に硝化される過程で酸素を消費する。アンモニア(NH₄-N) 1 mg/lが硝酸(NO₃-N)まで硝化されると4.57mg/lの酸素を消費し、BOD4.57mg/lと大きな負荷となる。津久井³⁾は、1991年8月から1992年8月にかけて都内の大河川を対象にBOD中に占めるアンモニアによる負荷(N-BOD)を計測した。表-2に測定結果の一部を示す。河川水中に下水処理水の占める割合の多い地点では、BOD中に占めるN-BODの割合は30~60%を示しており、BODは有機物のみでなくアンモニアに由来する部分が多いことがわかる。また、多摩川中流部の下水処理場排水のアンモニア性窒素を4 mg/lに低減すると調布取水堰でのBOD濃度を3 mg/l以下(B類型)にすることが可能であると試算されている⁶⁾。

風間ら⁷⁾は1980年度からの15年間の都内河川のデータを用いて、順流部と感潮部ごとに水生生物

の出現状況と水環境の変化との関係を検討している。そして、水質改善により汚れに強い底生生物の種類数が減ること、水質は悪化しないのに河床材料が固定化される(浮き石の減少等)ために底生生物の個体数が減少すること、市街地の照明等が水生昆虫の成虫に影響を与えること、また、溶存酸素濃度が改善されても魚毒性のあるアンモニア性窒素(NH₄-N)の濃度が高いために、魚類が生息できない環境となっており、その削減対策が必要であること等を報告している。

5. 野川の水循環の変化

5.1 流域の概要

多摩川の支川である野川流域を対象とし、水循環の変化を検討する。野川では、東京都土木技術研究所が流量の連続観測を行っており、これまでも多くの報告^{8) 128-10)}がなされている。

野川は、国分寺市恋ヶ窪の姿見の池を水源とし、立川段丘上を国分寺崖線に沿って流れ、左岸側に続く武蔵野台地の各所からの湧水・支川を合わせ、多摩川に合流する河川延長約17.1km、流域面積約46.3km²の一級河川である。なお、この流域の関東ローム層は高い透水性を有している。図-2に流域と観測地点を示す。

表-2 東京都の河川における水質調査結果

河川	調査地点	BOD (mg/l)	N-BOD (mg/l)	C-BOD (mg/l)	N-BOD/BOD%
多摩川	羽村堰	0.2	0.0	0.2	0
	拝島橋	0.7	0.0	0.6	4
	多摩川原橋	6.4	4.3	2.1	62
	調布取水堰	4.8	2.0	2.7	34
	大師橋	4.8	0.1	4.7	5
新河岸川	芝宮橋	7.4	4.1	3.3	55
	志茂橋	6.0	2.8	3.2	44
隅田川	岩淵水門	4.1	1.4	2.7	33
	小台橋	4.4	1.8	2.6	38
	両国橋	2.9	0.8	2.1	24
荒川	新荒川大橋	4.0	1.0	3.0	24
	葛西橋	2.2	0.3	2.1	6
江戸川	新葛飾橋	1.5	0.3	1.3	15
	江戸川水門	1.7	0.1	1.6	7
	浦安橋	2.0	0.2	1.9	10

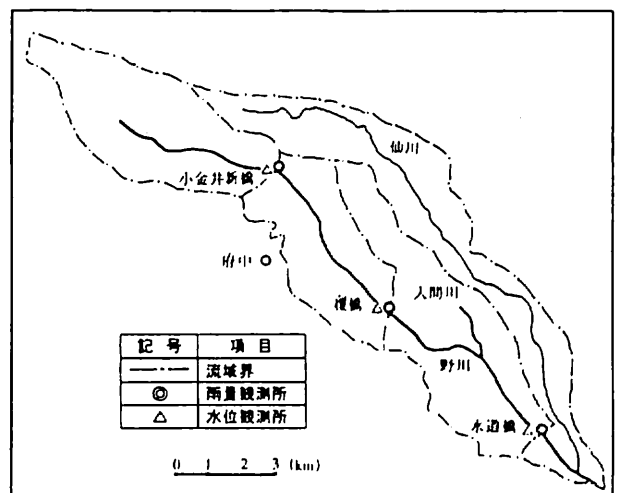


図-2 野川流域と観測地点

表-3 野川流域の土地利用変化

	小金井新橋		榎橋		水道橋	
	(19.27km ²)		(30.64km ²)		(46.87km ²)	
	1978	1993	1978	1993	1978	1993
山林・荒地等	7%	5%	6%	5%	6%	5%
田	1%	1%	1%	1%	0%	0%
畑・その他の用地	20%	16%	16%	14%	17%	14%
造成中地	0%	2%	0%	1%	0%	1%
空地(未利用地,低利用地)	5%	6%	4%	5%	5%	5%
工業用地	2%	2%	2%	2%	2%	2%
一般低層住宅地	34%	36%	26%	28%	28%	30%
密集低層住宅地	3%	3%	3%	3%	4%	3%
中・高層住宅地	1%	2%	1%	2%	2%	3%
商業・業務用地	7%	8%	6%	7%	7%	7%
公園・緑地等	8%	8%	7%	8%	7%	8%
道路用地	2%	2%	9%	10%	7%	8%
その他の公共公益施設用地	10%	9%	14%	13%	12%	12%
河川・湖沼等	0%	0%	1%	1%	1%	1%
その他(基地,皇室関係)	0%	0%	3%	2%	2%	1%
合計	100%	100%	100%	100%	100%	100%

細密数値情報を用いて、観測地点別の流域の土地利用変化を算出した結果が表-3である。1978年から1993年までの15年間に畑が住宅地に変化しているが、変化の割合は小さい。土屋ら⁹⁾によれば1988年時点での浸透域率は約62%と推定されており、都内の都市化が進んでいる地域としては高い値となっている。

下水道普及率と野川が仙川と合流する地点の上流部(天神森橋)での平常時の流量の経年変化を図-3に示す。下水道の整備は1980年前後に急速に進められている。また、流域の大半が属する野川処理区と北多摩一号処理区の下水道は合流式である。このため、下水道の整備により、雨水および雑排水の野川への流入は大幅に減少することになる。なお、この流域には雨水浸透施設が早くから導入されているが、その詳細なデータを入手していないため、その効果についてはここでは触れない。

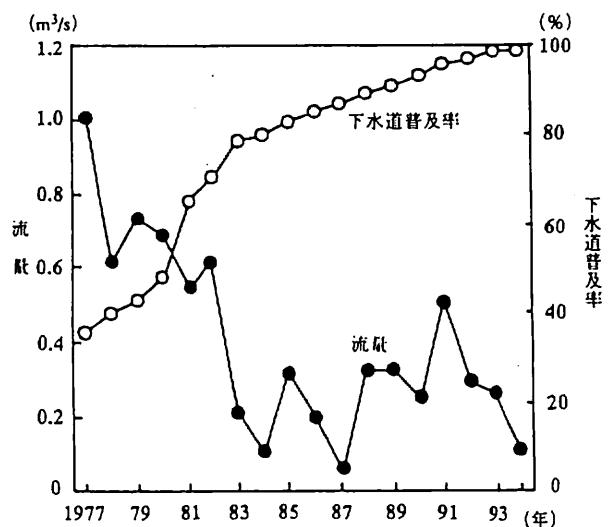


図-3 下水道普及率と天神森橋での流量の経年変化¹¹⁾

5.2 平常時の流量、水質

天神森橋での平常時の流量は、前述の図-3より、1980年代中頃までに大きく減少したことがわかる。また、それ以降では流量は年ごとに大きく変化するが、一定の傾向は見当たらない。

榎橋地点での年降水量と流量の経年変化を図-4に示す。1979年から1981年までのデータや一部の低水流量や濁水流量がプロットされていないが、これはデータが入手できていないためである。図-3の天神森橋の結果と、1978年の年降水量が少ないにもかかわらず平常時の流量が多いことを考えると、下水道の整備により家庭雑排水の流入が減り、平常時の流量が減少したものと考えられる。天神森橋での結果と同様に、1980年代中期以降の流量には明瞭な傾向は認められず、流況は降水量の影響を強く受けていることがわかる。

図-5は、平常時における、多摩川合流前地点でのBODとSS、天神森橋でのBODの経年変化を表したものである。BODとSSは1980年代中頃から改善されているが、その傾向は特にSSで顕著である。このような水質改善は主に下水道の普及によると考えられる。

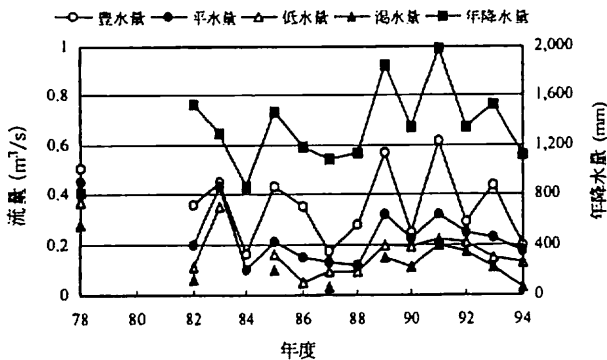


図-4 河川流況の経年変化(榎橋)

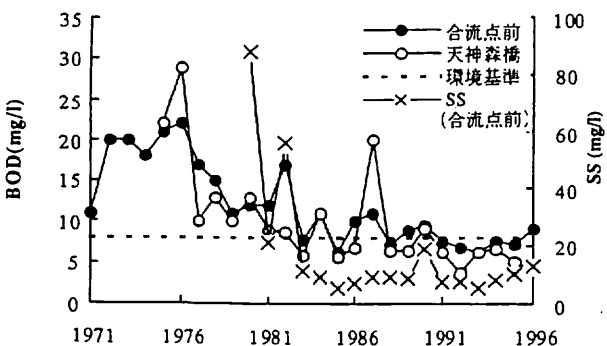


図-5 野川のBODとSSの経年変化

大久保ら¹²⁾は1976年、1982年、1986年での水量、水質の通日観測の結果から、下水道の普及により、流量、SS、NH₄-N、溶存有機性炭素が大きく減少し、溶存酸素が増加したことを確認している。なお、東京都環境保全局による平成8年度の観測結果によれば、多摩川合流点前地点でアンモニア性窒素は平均値で7.55mg/lとまだ高い。

5.3 出水時の流量

図-4に示したように、合流式下水道の整備により野川流域での降雨一流出系は大幅に変化したと推測できる。そこで、一降雨ごとの総雨量と総流出の関係を求めてみる。横軸に総雨量、縦軸に総流出をとったグラフ上にプロットすると、観測結果は図-6に示すような3本の太い実線の周りに分布すると考えられる。すなわち、降雨流出過程を降雨量から見て、窪地貯留により降雨が流出しない範囲、浸透域の土壌がまだ飽和しておらず不浸透域からの流出のみが観測される範囲、浸透域の土壌も飽和して表面流出が生じる範囲に分類できると考えられる。また、直線近似したときの直線の傾きが流出係数を表す。

一例として、1993年と1994年における榎橋地点での結果を整理したものが図-7である。図中で、総降雨35mm未満の観測データを○印、35mm以上の観測データを△印、また、それらの近似直線をそれぞれ実線と波線で表している。

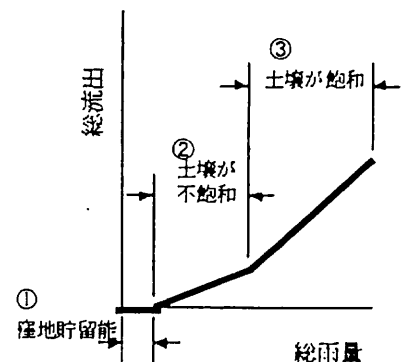
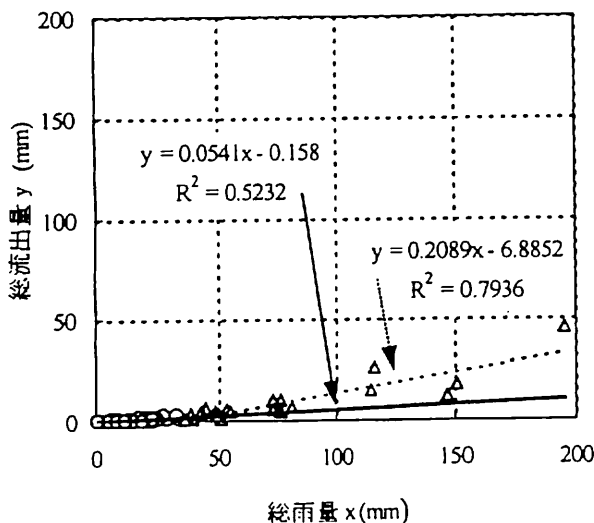


図-6 総雨量と総流出との関係(概念図)

表一4に窪地貯留能、図一6の範囲②と③の境の総雨量(飽和雨量)、範囲③での流出係数の値を示す。いずれの観測点における流出係数も都市化している地域としては極めて小さいが、米田ら¹³⁾が報告している結果と比較して不合理な値ではない。表より、榎橋の過去と現在を比較すると、飽和雨量は僅かに減少し、流出係数が微増しているが、明瞭な差違は認められない。

一方、榎橋地点において、総雨量50mm以上の一降雨ごとに合理式における流出係数を算出したところ、1978、79年で0.23、1993、94年で0.17となった。

これらの結果を考えると、榎橋地点での2時期の変化から判断する限り、下水道整備の出水時の流出量に及ぼす影響は小さく、流出量の大小は降雨量に依存すると推測される。



図一7 榎橋での雨量-流出関係

表一4 直接流出に関する定数

	小金井新橋	榎橋		水道橋
	93年 94年	78年 79年	93年 94年	93年 94年
窪地貯留能(mm)	0.3	1.5	2.9	4.7
飽和雨量(mm)	70	40	35	50
流出係数	0.05	0.17	0.21	0.19

6. おわりに

都市化の水循環系への影響と河川環境の改善に果たしてきた下水道処理水の役割と問題点とを都内河川での観測結果を用いて説明した。今後、流域の水循環系の再構築を見据えた施策の展開が必要であるが、一方で、例えば低水流量や出水時の水質等の基礎データを整備することも重要な課題である。

なお、野川のデータを提供下さった東京都土木技術研究所の黒羽公明氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 虫明功臣：都市と水循環，環境情報科学，vol.19，No.2，28-34，1990。
- 2) 土屋十國：都市の水文環境と河川の水量保全，雨水技術資料，vol.30，41-55，1998。
- 3) 飯田輝男：東京都における自然と人工の水循環について，雨水技術資料，vol.30，75-84，1998。
- 4) 東京都環境保全局：東京都水辺環境保全計画，1993。
- 5) 津久井公昭：都内河川のN-BODについて，用水と排水，Vol.36，No.2，115-119，1994。
- 6) 東京都環境保全局：東京都水辺環境保全計画，56，1998。
- 7) 風間真理，和波一夫：都内河川における水生生物と水環境の変化，用水と排水，Vol.40，No.12，5-10，1998。
- 8) 黒羽公明，和泉清：流域の都市化に伴う水収支の変化について(その1)，昭和58年度都土木技研年報，85-94，1983。
- 9) 土屋十國，和泉清：野川における低水流量観測と年流量変動(その1)，平成元年度都土木技研年報，389-394，1989。
- 10) 土屋十國：野川における河川構造と水文環境，平成8年度都土木技研年報，87-94，1996。
- 11) 東京都環境保全局：中小河川環境実態調査報告書，野川編，99p.，1996。
- 12) 大久保卓也ら：下水道整備に伴う都市河川の水量・水質の変化，下水道協会誌，vol.25，No.293，42-47，1988。
- 13) 米田宗広，和泉清：不透透域率と流出率，昭和53年度都土木技研年報，179-184，1978。