

江戸川・荒川・多摩川における水質環境と流入負荷特性

Water Quality and Pollutant Load in the Edo River, Ara River and Tama River.

二瓶泰雄¹・江原圭介²・臼田美穂³・坂井文子⁴・重田京助⁵

Yasuo NIHEI, Keisuke EHARA, Miho USUDA, Ayako SAKAI and Kyosuke SHIGETA

To clarify water quality and pollutant loads in the Edo, Ara and Tama Rivers, we examine the temporal changes of water pollution using monitoring data obtained by local governments and continuous monitoring data for COD. We also evaluate yearly-averaged SS, COD, T-N and TP fluxes in these rivers by conducting the field measurements under several hydrologic events. The trend analysis for COD continuously monitored in the Edo River indicates that the changes of COD under low flow conditions are not similar to those under flood conditions. The estimated COD, T-N and TP fluxes in these rivers reveal that non-point sources are comparable to point sources. These facts demonstrate that previous data and analysis methods for pollutant loads into Tokyo Bay should be examined carefully.

1. はじめに

富栄養化問題を長年抱える東京湾の環境再生のために、水質総量規制や干潟再生等という様々な陸域・海域対策が実践されている。特に水質総量規制により、流域からの流入負荷量は大幅に減少し、図-1 に示す COD 負荷については、過去 25 年間で約半分が削減されている（中央環境審議会，2005）。このような状況にも関わらず、東京湾の水質環境は、依然として明確には改善されておらず、今日でも赤潮・青潮が多発し、さらに下層水の貧酸素化については悪化傾向となっている（安藤ら，2005）。

このように、最近、東京湾環境を考える上で「流域からの流入負荷が近年減少している」ということが前提条件として扱われる。この前提の根拠は、平常時に計測される公共用水域データや図-1 のような原単位法による流入負荷解析結果であるが、河川や水質項目によっては、この前提が成り立たない場合も考えられる。さらに、高負荷となる出水時の影響（高田，1997）は、観測データが少ないため、水質環境や流入負荷の経年変化を考える上でほとんど反映されない。そのため、平常時の水質データのみから得られる流入負荷量や水質環境の経年変化については疑問点が多い。また、干潟再生の基礎データとして不可欠な粒径別土砂供給量の知見も非常に少ない。

本研究では、東京湾に流入する代表的な河川である江戸川・荒川・多摩川について水質環境の経年変化や流入負荷量を明らかにする。まず、公共用水域データや自動

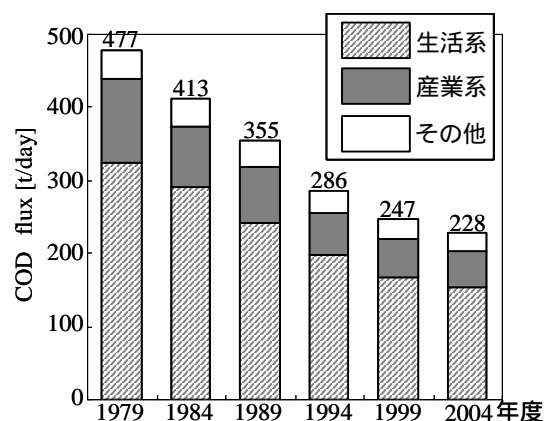


図-1 東京湾流域における COD 負荷量の変遷（中央環境審議会（2005）の結果を一部修正）

水質観測所の連続測定データ（COD）を用いて、水質環境の経年変化を示す。次に、実測データが少ない出水時における流入負荷調査を実施し、各河川における流入負荷量（粒径別土砂・栄養塩・有機物輸送量）を算定する。

2. 各河川の流域特性

図-2 は江戸川、荒川、多摩川の位置を示す。また、表-1 は各河川の流域面積や土地利用特性を示す。江戸川が利根川の分派河川であることを考慮して、この表には利根川の江戸川分派点における流域情報も表示している。江戸川は、千葉県野田市関宿にて利根川より分派し、首都圏を縦貫して東京湾に注ぐ河川である。全長は 60 km、流域面積は 200 km² であり、順流部末端は江戸川水閘門（河口より+9 km）である。次に荒川は甲武信ヶ岳を源流として埼玉県と東京区部を流下し、全長 173 km、流域面積 2940 km² である。荒川の順流部末端は秋ヶ瀬堰（+34 km）であり、この長い感潮区間には支川の合流、岩淵での隅田川への分派、下水処理水の放流が存在する。多摩

1 正会員 博(工) 東京理科大学准教授理工学部土木工学科
2 埼玉県(元東京理科大学学部生)
3 東京都文京区(元東京理科大学学部生)
4 学生会員 東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻
5 学生会員 東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻

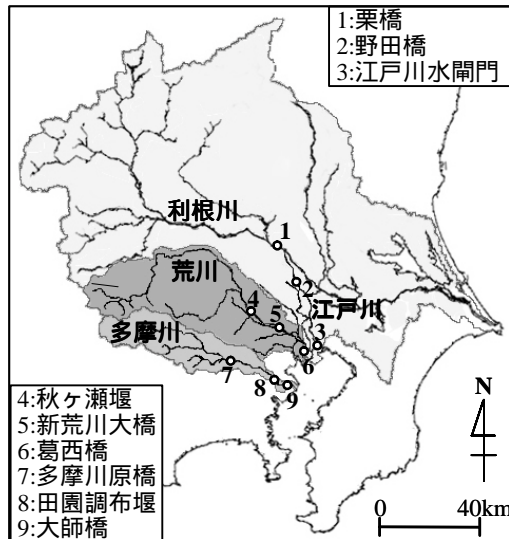


図-2 各河川流域と観測点

表-1 各河川の流域特性(利根川は江戸川分派点, 他は流域全体のデータを記載)

河川名	流域面積 [km ²]	割合[%]				
		山林	市街地	水田	畑地	その他
荒川	2940	43	28	7	11	11
多摩川	1240	62	28	1	5	3
江戸川	200	15	63	3	10	8
利根川	8764	62	16	8	9	5

川は全長 138 km, 流域面積 1240 km² であり, 流域には山梨県の一部, 東京の大部分が含まれる。順流域末端は田園調布堰(+13 km)と河口に近い。土地利用特性としては, 全般に山林の割合が高く, 農地の割合が低い。

3. 水質環境の経年変化

(1) 解析対象データ

水質環境の経年変化を把握するために, 月 1 回の頻度で平常時に観測される公共用水域水質データを用いる。対象項目は, BOD・全窒素(T-N), 全リン(T-P), 大腸菌群数とする。対象地点は, 多摩川では上流より多摩川原橋(+28 km)・田園調布堰・大師橋(+3 km), 荒川では上流より秋ヶ瀬堰・新荒川大橋(+21 km)・葛西橋(+1 km)とする。江戸川では野田橋(+39 km)・水閘門に加えて, 上流部の代表地点として利根川・栗橋も解析対象とする。

出水時の結果が含まれない公共用水域データのみでは, 水質環境の経年変化を正確に捉えられない可能性がある。そこで, 自動水質観測所において 1 時間間隔で計測されている COD についてデータ解析する。対象地点は江戸川・流山(+27 km)とし, 1975 年から 2006 年の平常時と出水時における COD の経年変化を調べる。

(2) 結果と考察

公共用水域データより得られた BOD と T-N, T-P, 大

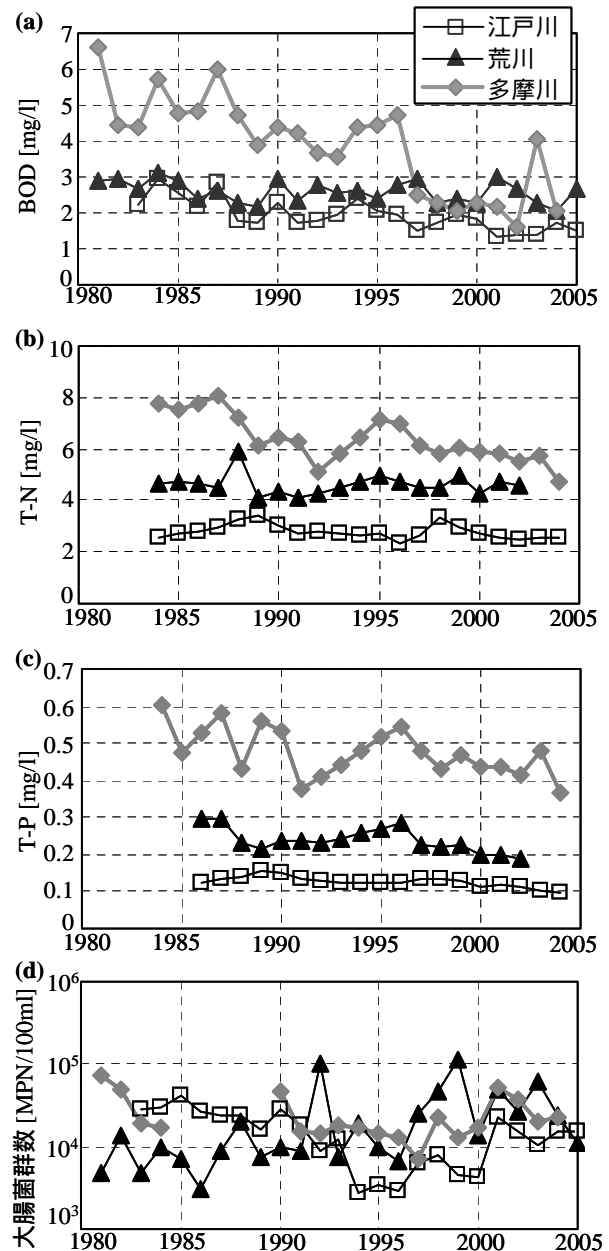


図-3 水質濃度の経年変化(公共用水域データ)

腸菌群数に関する年平均値の経年変化を図-3に示す。ここでは, 各河川における 3 地点の平均値を図示する。まず BOD と T-N, T-P に着目すると, 多摩川では, 三項目共に減少しているものの, その減少率は BOD が最も大きい。これは, 多摩川流域において下水道整備の進展により有機汚濁は除去されたものの, 高次処理施設が普及しておらず N や P の大幅な削減には至っていないためである。それに対して江戸川や荒川では, 多摩川ほど明確な減少傾向は見られず, BOD (荒川のみ) や T-N (両河川) のように横ばい傾向となる場合も見られる。一方, し尿汚染の指標となる大腸菌群数の経年変化としては, 多摩川では横ばいかわずかに増加傾向, 江戸川では 1990 年代後半から増加傾向, 荒川では概ね増加傾向である。

出水時の観測結果が含まれる自動水質観測所にて得ら

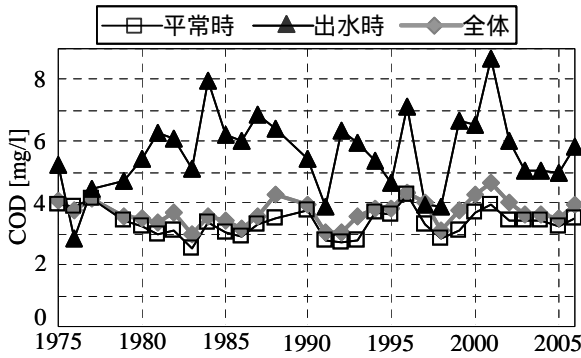


図-4 平常時及び出水時, 全体平均 COD の経年変化(江戸川)

れた COD の経年変化を図-4 に示す。ここでは各年の平常時(流量 $Q < 150 \text{ m}^3/\text{s}$)と出水時($Q > 150 \text{ m}^3/\text{s}$), 全体の平均値を示す。これより, 平常時平均の COD は横ばい傾向であるのに対して, 出水時平均の COD は横ばいか若干増加している。この結果, 全体平均の COD の経年変化は, 出水時平均と類似した傾向を示す。また, COD フラックスを求めたところ出水時の寄与率が高いことが確認されており, 出水時データを含む水質データを用いて水質環境の経年変化を検討することの重要性が示された。

以上の結果より, 平常時における河川水質環境は, 河川や水質項目によっては必ずしも改善されておらず, また水質環境の経年変化を論じる上では, 出水時データを考慮することが重要であることが示された。これより, 「流域からの流入負荷が近年減少している」という結果を再検証する必要性が示された。

4. 現地調査に基づく流入負荷量の推定

(1) 観測概要

粒径別土砂・栄養塩・有機物負荷量を算定するために, 出水時の採水調査と自記式測器による濁度連続計測を実施した。観測地点は江戸川では野田橋, 荒川では新荒川大橋, 多摩川では田園調布堰とする(図-2)。出水時採水に際しては, 江戸川と多摩川では自動採水機(6712型サンプラー, ISCO製)を設置し, 荒川ではバケツ採水を行った。サンプル水を実験室に持ち帰り, 濁度, SS, 粒径分布, 窒素, リン, COD 等を分析した。この分析には, オートアナライザー(swAAt, ピーエルテック株製)やレーザー回折式粒度分布測定装置(SALD-3100, 株島津製作所製)等を用いた。調査期間は2006年6~10月であり, 江戸川と多摩川では5回, 荒川では1回の出水時に採水観測を行った。次に濁度観測では, ワイパー付光学式濁度計(Compact-CLW, アレック電子株製)を用いた。濁度計測を, 荒川では2006年7~11月, 江戸川では同年6月~現在, 多摩川では同年8月~現在まで行っている。

(2) 流入負荷量の算定方法

COD・T-N・T-P 負荷量を求める際には, 公共用水域デ

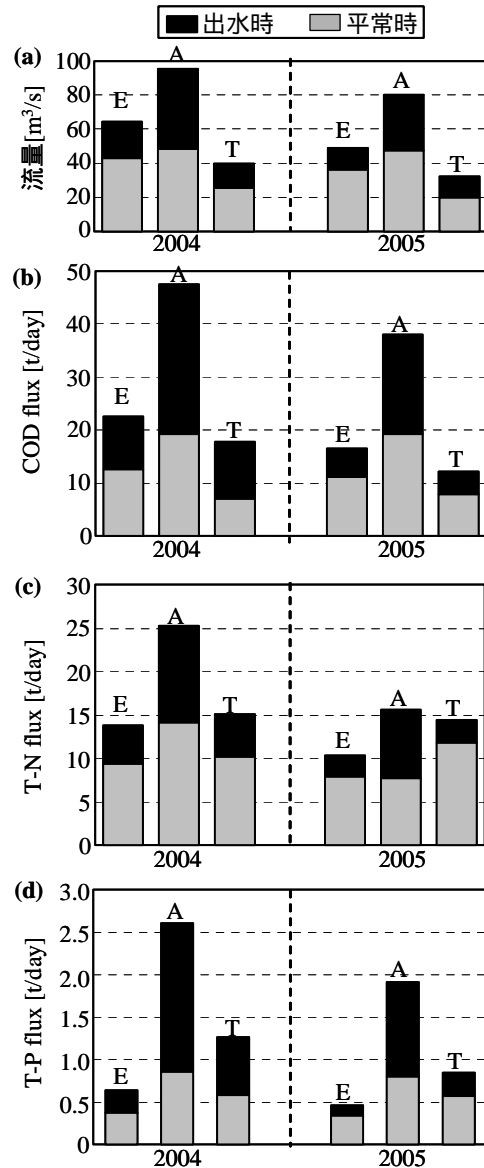


図-5 江戸川(E)と荒川(A), 多摩川(T)における流量(a)及び COD (b), T-N (c), T-P フラックス (d) の年間平均値

ータと別途計測されている流量データ, この現地調査から得られる水質負荷量 L と流量 Q の関係式 ($L-Q$ 式) を用いる。具体的には, 平常時には公共用水域データと流量の積より, 出水時には流量観測値と $L-Q$ 式より, それぞれ負荷量を求める。平常時と出水時を分ける流量の閾値は, 各河川の流量特性を考慮して, 江戸川, 荒川, 多摩川においてそれぞれ $150, 100, 50 \text{ m}^3/\text{s}$ とする。解析対象地点は江戸川では野田橋・水閘門, 荒川では秋ヶ瀬堰・新荒川大橋・葛西橋, 多摩川では田園調布堰・大師橋とする。流量データの作成手順としては, 二瓶ら(2007)と同様に, 最も下流側の流量観測点(江戸川:野田橋, 荒川:秋ヶ瀬橋, 多摩川:田園調布堰)における流量データ及びこの地点から解析対象地点までの流入量(支川や下水道)と流出量(取水)を加味する。なお, 解析対象期間は2004, 2005年とする。

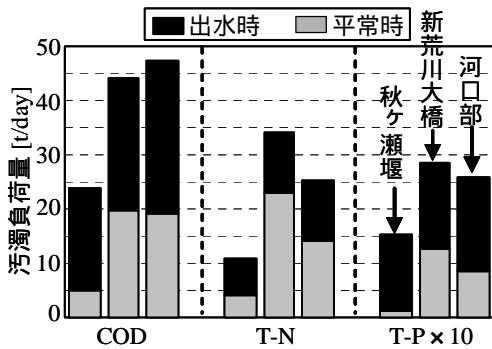


図-6 2004年・荒川下流域(左:秋ヶ瀬堰,中:新荒川大橋,右:河口部)におけるCOD・T-N・T-P負荷量の比較

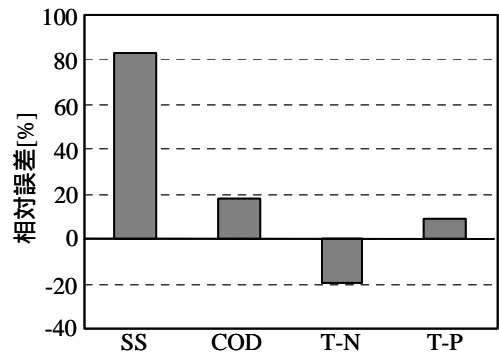


図-8 区間代表法における流入負荷算定結果の相対誤差

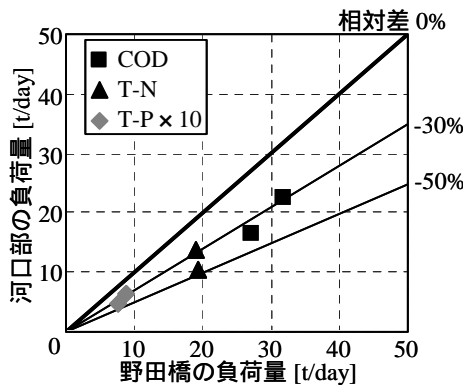


図-7 江戸川・野田橋と河口部における水質負荷量の比較(図中の実線は両地点の負荷量の相対差を表示している)

粒径別土砂輸送量に関しては、濁度値をSSに変換し、それに浮遊土砂粒径分布の実測データを掛ける。ここでは、粒径分布を0.014 mm以下(ウォッシュロード小), 0.014~0.071 mm(ウォッシュロード大), 0.071 mm~(浮遊砂)に分割し、各成分の浮遊土砂濃度を求める。実測値が無い部分には実測データに基づくL-Q式を用いて補間し、2006年全体における粒径別土砂輸送量を求める。

(3) COD・窒素・リン負荷特性

各河川河口地点における流量とCOD・T-N・T-P負荷量の年間平均値を図-5に示す。図中には、2004年と2005年の結果について、平常時と出水時に分けて表示している。この河口地点とは、江戸川では水閘門、荒川では葛西橋、多摩川では大師橋を指す。まず、流量に関しては、両年ともに、荒川>江戸川>多摩川の順となる。この流量の大小関係に対応して、COD・T-N・T-P負荷量は荒川において最も大きく、その違いは平常時のみならず出水時においても顕著である。また、流量が最も小さい多摩川の負荷量は、CODでは最も小さいが、T-NやT-Pでは江戸川の結果を上回る。原単位法に基づく汚濁負荷解析結果では、CODとT-Nでは荒川 江戸川>多摩川、T-Pでは荒川>江戸川 多摩川という大小関係となっている(国土交通省関東地整, 2006)。この結果と上述した観測結果を比べると、江戸川の負荷量に関して大きく異なる。

このような流入負荷量の形成要因を検討する。最も負荷量の大きい荒川の下流域における負荷量を比較すると(図-6), 新荒川大橋や河口部の負荷量が順流部末端(秋ヶ瀬堰)の負荷量の2倍かそれ以上となっている。また、この下流域での負荷量増加は、面源負荷が顕著となる出水時よりも、点源負荷で構成される平常時における負荷量の増加に起因する。これより、面積では全体の約15%しか占めない下流部都市域を起源とする点源負荷が荒川河口部の負荷量を著しく増大させていることが示唆された。次に江戸川では、下流部で大量に取水されており、野田橋から河口部までの間において30~40 m³/s(野田橋での年間平均流量との割合では約30%)も流量が減少している(二瓶ら, 2007)。この大量の取水の影響を受けて、図-7に示すように、河口部のCOD・T-N・T-P負荷量は、野田橋の値よりも30~50%小さい。これより、原単位法の解析結果において江戸川の流入負荷量がここで示す実測値と異なるのは、下流部での取水に伴う負荷量減少効果を正確に取り込めていないためであると推測される。さらに、多摩川では、水質負荷量に対する下水処理場からの放流水の影響が大きく、この大きさは河口部での平常時負荷と同程度であることが確認されている。

(4) 出水時負荷量について

図-5に再度着目すると、COD・T-N・T-P負荷量全体に対する出水時の寄与は大きい。その寄与率としては、CODでは30~60%、T-Nでは20~50%、T-Pでは25~65%である。ここでは図示していないが、SSフラックス全体への出水時の寄与は80%以上であり、懸濁態成分の影響の強い項目(T-PやCOD)が相対的に出水時の寄与率が高い。このように出水時に卓越する面源負荷が負荷量全体に占める割合は大きいことが示されたが、一方で「水質総量規制」で用いられる資料(中央環境審議会, 2005)では、図-1に示すように、汚濁負荷量に対する面源負荷(図-1中の「その他」に相当)の寄与は極めて小さい。これより、水質総量規制の基礎データとなる汚濁負荷算定結果の精度には大きな疑問が残る。

出水時の水質データが存在しない場合に水質負荷量を

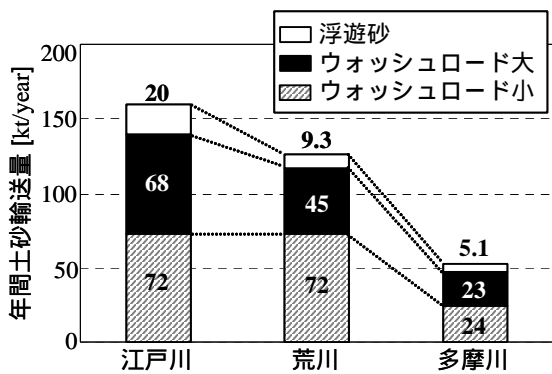


図-9 2006年・出水時における粒径別土砂輸送量

求めるには、平常時の水質データのみを用いる区間代表法(武田,2001)が一般に用いられる(松村・石丸,2004)。そこで、区間代表法に基づく水質負荷量の見積り誤差を検討するために、本論文で示したL-Q式を用いる方法により得られた負荷量 L_1 から、区間代表法による水質負荷算定結果 L_2 を差し引いた相対誤差(= $(L_1 - L_2)/L_1$)を図-8に示す。ここでは、SSとCOD、T-N、T-Pの結果を図示する。区間代表法における相対誤差は、SSでは80%、その他の項目では±20%程度と大きくなっている。これより、水質負荷量評価を精度良く行うには、出水時負荷の取り扱いが極めて重要であることが示唆された。

(5) 粒径別土砂輸送量

三河川における粒径別土砂輸送量を比較するために、濁度の連続計測結果と浮遊土砂粒径分布から得られる粒径別土砂輸送量の年平均値を図-9に示す。ここでは2006年の出水時を対象とする。また、土砂粒径分布を前述した「ウォッシュロード小」、「ウォッシュロード大」、「浮遊砂」と分けて表示している。これを見ると、三河川ともに、「ウォッシュロード小」輸送量が最も大きく、「浮遊砂」輸送量が最も小さい。各輸送量を河川間で比べると、「ウォッシュロード小」については荒川と江戸川では同程度であり、多摩川では江戸川の約1/3である。それに対して、「ウォッシュロード大」や「浮遊砂」については、「ウォッシュロード小」と異なり、江戸川>荒川>多摩川の順となる。特に「浮遊砂」輸送量の違いは大きく、その比率としては江戸川：荒川：多摩川=10：4.5：2.5となっている。東京湾河口干潟保全検討会(2004)によると、細砂・中砂(文中の「浮遊砂」に相当)の生産量を山地域において検討した結果、各河川間の土砂生産量の比率は江戸川：荒川：多摩川=10：7：3となることを指摘している。この結果と本観測結果は定量的にも近く、各河川間の「浮遊砂」輸送量が異なったのは山地域での土砂生産量の違いによるものと推察される。

5. 結論

本研究で得られた主な結論は、以下の通りである。

- 1) 平常時の水質環境は、全般的には改善傾向であるものの、荒川のBOD、荒川・江戸川のT-Nは横ばい傾向、大腸菌群数については三河川共に増加傾向となっている。
- 2) 連続計測されたCODデータの経年変化としては、平常時のCODは横ばい傾向であるものの、出水時のCODは横ばいか増加傾向となっており、平常時と出水時における水質環境の経年変化は類似していない。
- 3) 流入負荷量に関しては、流量と対応して荒川の負荷量が最も大きい。また流量が最も小さい多摩川の負荷量は、T-NやT-Pについては江戸川よりも大きい。
- 4) 流入負荷量に占める出水時の割合は、全水質項目において大きく、出水時に卓越する面源負荷が流入負荷に対して大きく寄与していることが示された。
- 5) 以上の結果は、公共用水域データや原単位法の負荷解析による既存の結果と異なる部分が多く、これらに基づく「流域からの流入負荷が近年減少している」ということを再検証する必要性が示唆された。
- 6) 粒径別土砂輸送量を算定した結果、江戸川の「浮遊砂」輸送量が荒川や多摩川よりも顕著であり、これが山地域の土砂生産量の違いと密接に関連していることが示された。

謝辞：公共用水域水質データは国立環境研究所「環境数値データベース」より収集した。国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所・荒川下流河川事務所、水資源機構・利根導水総合管理所、東京都水道局には流量や水質データをご提供して頂いた。多摩川における現地調査の一部は、国土交通省関東地方整備局「羽田周辺水域環境調査研究委員会」として行われたものである。現地観測の実施には、東京理科大学理工学部土木工学科水理研究室学生諸氏に大変お世話になった。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 安藤晴夫・柏木宣久・二宮勝幸・小倉久子・川井利雄(2005): 1980年以降の東京湾の水質汚濁状況の変遷について - 公共用水域水質測定データによる東京湾水質の長期変動解析 -, 東京都環境科学研究所年報, pp.141-150.
- 国土交通省関東地方整備局(2006): 第3回東京湾流域別下水道総合整備計画策定懇談会資料, 64p.
- 高田秀重(1997): 陸域から沿岸海域への物質フラックス, 沿岸海洋研究, Vol.34, No.2, pp.111-117.
- 武田育郎(2001): 水と水質環境の基礎知識, オーム社, pp.80-84.
- 中央環境審議会(2005): 第6次水質総量規制の在り方について(答申), 21p.
- 東京湾河口干潟保全検討会(2004): 東京湾河口干潟保全再生検討報告書, 302p.
- 二瓶泰雄・高村智之・渡邊敬之(2007): 東京湾主要流入河川における流量モニタリングの現状と課題, 海岸工学論文集, Vol.54(投稿中).
- 松村剛・石丸隆(2004): 東京湾への淡水供給量と窒素・リンの流入負荷量(1997-98年度)海の研究, Vol.13, No.1, pp.25-36.