

都市河川感潮域における 水質，流動特性に関する研究

川村理史*，岡部真人*，山田 正*

A Study of Characteristic of Water Quality and Flow in Tidal Area of Urban Rivers

Masashi Kawamura*, Masato Okabe*, Tadashi Yamada*

abstract

In recent years, the time comes when we discuss the city and basin that coexist with nature in various plans related to the formation of the country in Japan. Under such situation, it is recognized as a very important problem to improve the water quality and environment in the urban river. In order to clarify formation process of water quality in tidal area of urban rivers, the field observation and its results of the salinity intrusion and spatial distribution and time series of water quality in the tidal area of Kanda River, Nihonbashi River, Sumida River and Arakawa River are reported in this paper. From the results of field observation, following results are obtained; 1) BOD concentration show high value at Sotobori point and bottom layer of observation points around Sotobori point in Kanda River. 2) T-N and T-P concentration show high value at almost all observation points. 3) Salinity intrusion is a strong mixed type at high tide and weakly mixed type at low tide in Nihonbashi River. 4) After rainfall, dissolved oxygen concentration of Nihonbashi River is decreased, and it takes 6days to recover to initial concentration. 5) After rainfall, BOD Concentration of the middle parts of Kanda River is increased for 2 hours and decreased for 2 hours after BOD Concentration show maximum value. But BOD Concentration of Nihonbashi River is increased for 2days after rainfall.

1 はじめに

都市域を流れる河川は世界各地において利水目的以外に人々の憩いの場や癒しの空間の中心、あるいはシンボルとして存在してきた。日本では高度経済成長期を中心に、洪水や高潮から生命や財産を守るため、非常に高い治水安全度を有する河川整備が実施されてきた。その結果として、治水的に大きな成果を挙げた反面、河川に背を向けた町並みが形成され、人々は都市河川と触れ合う機会を失っている。しかし近年、日本においては国土の形成や環境等に関わる各種の計画において、自然と共生する都市・流域が議論される時代となった。このような状況下で、都市河川の水質環境の改善を行うことは非常に重要な課題として認識されている。

著者らは従来から水質環境の形成機構の解明を目的とした多くの現地観測、理論展開、数値計算などを行っている。例えば、著者ら [1], [2], [3] は、出水時の水質濃度変化を表現する水質ハイドログラフの形成機構に関して、水質ハイドログラフのタイプはファーストフラッシュ型、流量希釈型、後期高濃度型に分類できることを示すとともにその予測手法に関して質量保存則のみから表現する理論展開を提案している。これにより出水時

*中央大学理工学研究所 東京都文京区春日 1-13-27

川村理史 岡部真人 山田 正

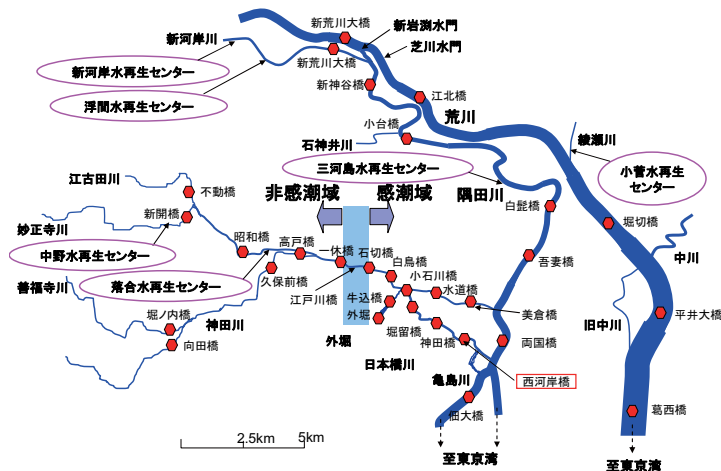


Fig. 1 The Sketch of Kanda River, Nihonbashi River, Sumida River and Arakawa River

の水質濃度変化を理論的に追跡することが可能となった。また、著者ら [4], [5], [6] は荒川感潮域における水質の縦断分布とその時空間分布特性に関する現地観測を行い、荒川における塩水遡上は、大潮では強混合型、小潮では弱混合型であり、小潮時に遡上してくる塩水は貧酸素化していることなどを報告している。しかしながら、河川の水質環境はその流域特性や出水時・平水時で異なる性質を示すため未だ各河川に応じた定量的な評価が出来ていないのが現状である。また、都市河川においては水文・水質データが不足しており、河川水質環境の現状の理解を困難なものとしている。本論文は、都市河川感潮域として日本橋川、神田川、隅田川および荒川において、①平水時における水質の各観測地点間の比較、縦断・鉛直分布特性、②降雨時の水質の時系列特性、③塩水の遡上形態の3つの観点に着目し現地観測を行った。これにより、都市感潮河川の水質環境形成機構を解明するとともに各種水質浄化対策の実施に向けた基礎調査とする。

2 対象河川の概要および観測方法

2.1 対象河川の概要

著者らは、図-1に示す日本橋川、神田川、隅田川、荒川を対象とし2007年7月9日、2007年11月16日に現地採水調査を行うとともに8月28日～9月1日まで日本橋川西河岸橋地点における塩水の遡上特性、2008年5月12日～23日に降雨時の水質に関する現地観測を行った。以下に観測地点の概要を示す。荒川は幹線流路延長173 km、流域面積2940 km²の一級河川である。荒川に関しては河口から21 km地点までの感潮域を対象とした。隅田川は荒川の支川であり、途中神田川、日本橋川と合流する都市河川である。神田川は幹線流路延長24.6 km、流域面積105 km²、下水道普及率100%で水量の8割が下水処理水の都市河川であり、千代田区、文京区などの2市13区を流れる。日本橋川は神田川の支川であり、流路総延長4.8 kmの都市河川である。本論文において神田川、日本橋川における河口からの距離は隅田川0 km地点を基準とした。

2.2 観測方法

平水時における現地観測の観測実施日および採水前3週間の潮位、日降雨量、気温を図-2に示す。夏季(7月9日観測)と秋季(11月16日観測)共に採水時は降雨の影響がほとんどなく、下げ潮で流況は順流であり、逆流に変化しないうちに全地点の調査を終了した。隅田川においては観測船により河川内を移動し、他の河川においては橋上から採水を行った。多項目水質計(HydroLab社製)を用いて水温、塩分濃度、溶存酸素を測定するとともに採水を行い、BOD、全窒素、全リン、クロロフィル-a、NH₄-N、大腸菌群数などに関して水質

都市河川感潮域における水質、流動特性に関する研究

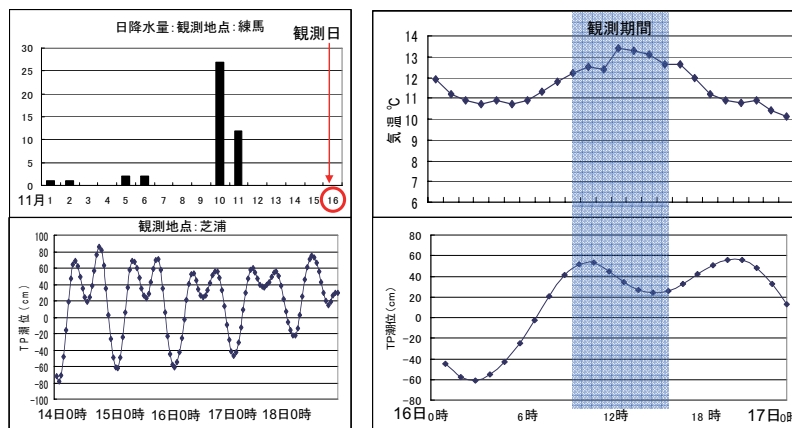


Fig. 2 Observing period and time series of Tidal Level, Rainfall and Temperature

分析を行った。分析方法は、BOD は一般希釈法、全窒素はペルオキシ二硫酸カリウム分解-銅・カドミウムカラム還元法、全リンはペルオキシ二硫酸カリウム分解法、クロロフィル-a はアセトン抽出による吸光度法、 $\text{NH}_4\text{-N}$ はインドフェノールによる吸光度法および大腸菌群数は最確数による定量法を用いた。BOD、全リンに関しては鉛直方向 3 箇所 (表層: 水面から 30 cm, 5 割水深, 下層: 河床から 30 cm) で採水を行った。また、東京湾からの塩水の遡上特性を把握するため図-1 に示す日本橋川西河岸橋地点 (河口から 5.5 km) において 8 月 28 日~9 月 2 日 (大潮時) まで流速の鉛直分布、溶存酸素、塩分濃度の集中観測 (1 時間おきに測定) を行った。また、同地点において 2008 年 5 月 12 日~23 日まで流速と溶存酸素の鉛直分布、および BOD、大腸菌群数、濁度の時系列測定を実施した。流速の測定にはワークホースタイプ ADCP (RD 社製、周波数 1200 kHz) を用いており、流速分布を 10 cm の間隔で測定した。溶存酸素、塩分濃度は鉛直方向 5 地点 (1 割水深, 3 割水深, 5 割水深, 7 割水深, 9 割水深) を 1 時間ごとに測定した。

3 日本橋川, 神田川, 荒川, 隅田川における平水時の水質調査結果

3.1 各種水質の水平分布

平水時の水質調査は夏季 (7 月 9 日観測) と秋季 (11 月 16 日観測) に実施した。図-3 に秋季に実施した日本橋川, 神田川, 荒川, 隅田川における BOD 濃度, 全窒素濃度, 全リン濃度, アンモニア態窒素濃度, 大腸菌群数, 塩分濃度, 溶存酸素の観測結果を示す。研究対象としている河川においては、環境省により生活環境の保全に関する環境基準 (河川) C 類を満たすことを求めているので、本論文においても比較基準として環境基準 C 類を用いる。図中赤色で表示されている濃度は環境省 C 類の基準を満たさない事を意味する (塩分濃度, 糞便性大腸菌, アンモニア態窒素は除く)。観測対象の河川の BOD 濃度の公共用水域の水質測定結果は環境基準を達成している [7]。観測では表層の濃度は荒川, 隅田川, 神田川, 日本橋川のほとんどの地点において環境基準 C 類 (5 mg/l) より低い値を示し、最も高い値を示すのは外堀牛込橋地点 (6.1 mg/l) である。しかし、神田川底層の BOD 濃度を見ると中流の外堀周辺で濃度が高く、最も高いのは外堀から 2 km 上流の地点 (17.0 mg/l) であり流下するに従い濃度は減少する。全リン濃度に関しては、ほとんどの観測地点において濃度が高い。各河川を比較すると、荒川, 隅田川と比較して神田川, 日本橋川的全リン濃度が高く、落合水再生センターの直下流から全リン濃度が大きくなっていることがわかる。全窒素濃度に関しても全リンと同様の全地点で高い濃度を示している。全窒素は中野水再生センターの直下流から高い濃度を示している。落合水再生センターからの放流量は年平均 $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度であり、神田川一休橋地点の平常時流量が $3.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度であることから、神田川および日本橋川の流水の大半は落合水再生センターからの放流水で構成されている [8]。落合水再生センター

川村 理史 岡部 真人 山田 正

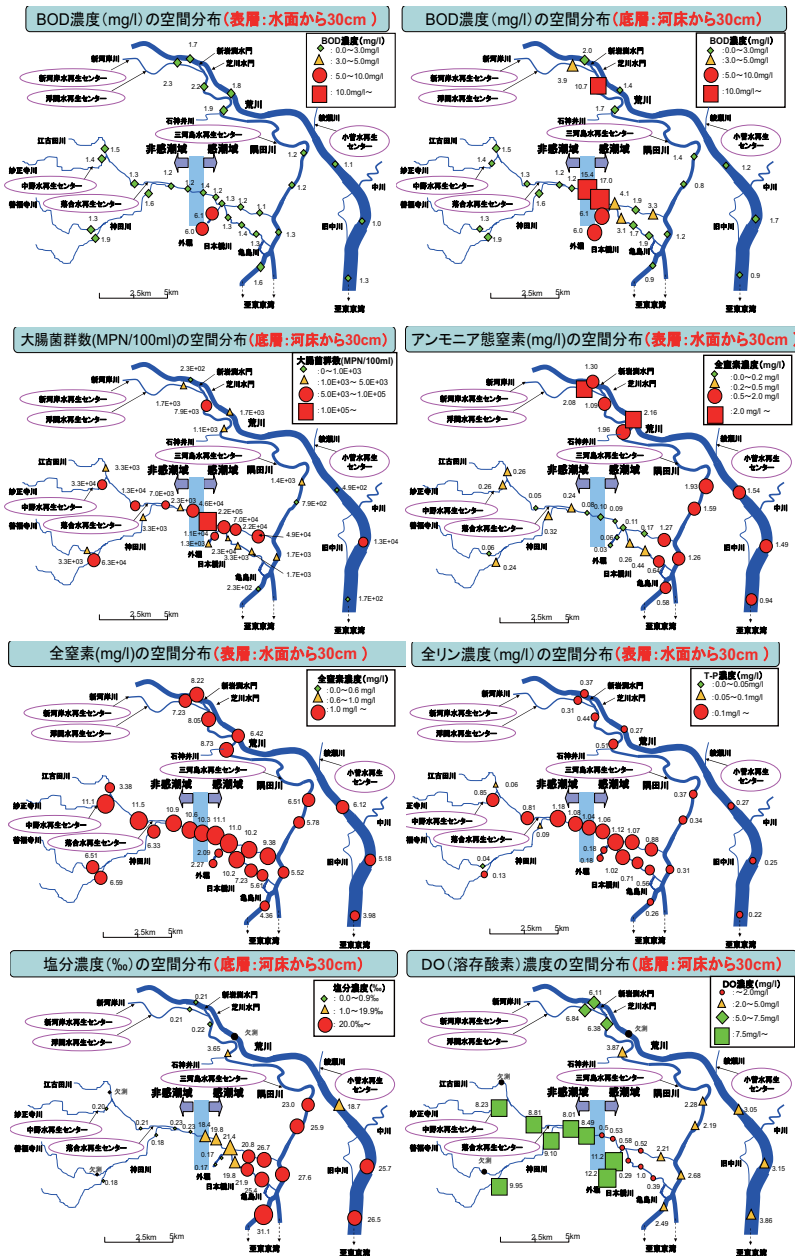


Fig. 3 Spatial distribution of water Quality in the tidal area of Kanda River, Nihonbashi River, Sumida River and Arakawa River [Date: 16/11/2007]

都市河川感潮域における水質、流動特性に関する研究

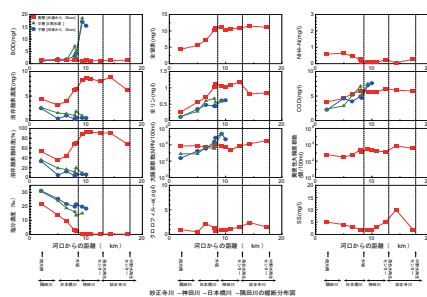


Fig. 4 Longitudinal distribution of water Quality in the tidal area of Kanda River and Nihonbashi River [Date: 16/11/2007]

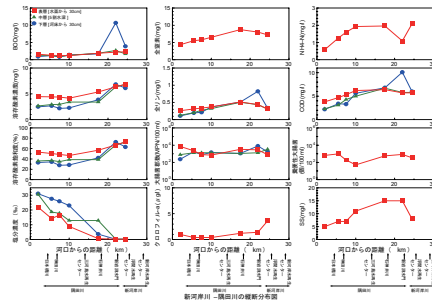


Fig. 5 Longitudinal distribution of water Quality in the tidal area of Sumida River [Date: 16/11/2007]

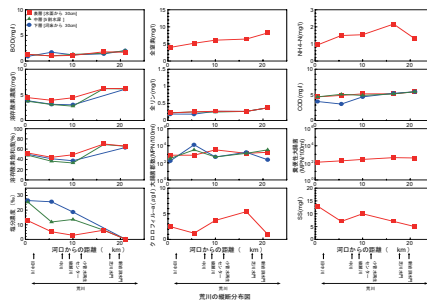


Fig. 6 Longitudinal distribution of water Quality in the tidal area of Arakawa River [Date: 16/11/2007]

はBOD、SSを対象とした高度処理を行っているが今後は窒素、リン除去処理を行うことが重要となる。アンモニア態窒素濃度は神田川および日本橋川と比較して荒川、隅田川の値が高く、神田川と日本橋川の最下流で最も濃度が高いことから、順流時においても下流からの影響が両河川に残っていることが考えられる。大腸菌群数(河床から30cm)に関しては神田川上流、隅田川上流および荒川上流で多く、東京湾に近づくにつれて大腸菌群数は減少している。広範囲で人体に害のある可能性のある大腸菌群数は環境省の基準を満たしておらず、都市河川としての親水性が低い事を示している。塩分濃度(河床から30cm)を見ると神田川感潮域最上流まで塩水が遡上している。また溶存酸素(河床から30cm)は、日本橋川、神田川において溶存酸素が1mg/lを下回っており平水時から貧酸素状態であることがわかる。

3.2 各種水質の縦断分布

図-4に日本橋川、神田川、図-5に隅田川、図-6に荒川における秋季実施観測結果の水質縦断図を示す。図-4をみると日本橋川、神田川においては、全リン濃度は下層より表層が高く、BOD濃度に関しては、表層より下層が高い。クロロフィル-a濃度は外堀の直下流で高い濃度を示している。外堀は神田川の飯田橋地点(河口から9.5km)で合流する構造になっており、平常時でも少量の越流水が神田川へ流入していることを目視にて確認している。神田川・日本橋川における水質環境の要因として外堀からの流入水も関係しているものと考えられる。大腸菌群数に関しては、表層は縦断方向に値がほとんど変わらず、底層は外堀より2km上流で濃度が高く、流下するに従い減少していることがわかる。塩分濃度は河口から11km地点の江戸川橋地点の感潮域の最上流まで塩水が遡上している。溶存酸素に関しては日本橋川において非常に低い値を示しており、中層、

川村理史 岡部真人 山田 正

下層においては貧酸素状態であることがわかる。図-5を見ると隅田川においては、BOD濃度、全リン濃度ともに鉛直方向に一律の値を示す地点が多い。しかしながら全リン濃度に関しては河口付近にて表層の濃度が高くなっている。塩分濃度に関しては、河口から17km地点まで塩水が遡上していることがわかる。図-6に示す荒川に関しては、BOD濃度、全リン濃度には鉛直方向の分布は見られず一律な値を示している。また、溶存酸素は18kmより下流で3mg/l前後の値と低い値を示すが、神田川、日本橋川と比較すると高い。以上示した各種水質濃度の水平・鉛直分布の観測結果より、神田川、日本橋川においては、水質環境の形成要因として落合水再生センターおよび外堀からの流入水の影響が大きいことが挙げられる。また、全リン濃度に関して、既存の荒川における観測結果^{4),5),6)}では、全リン濃度が河口部の下層で高くなる結果を報告しており、この要因として、無酸素水塊が形成される、もしくは、水温が高いためリンが底泥から溶出している可能性を指摘している。しかし、日本橋川においては、全リン濃度は上層が高く、下層では低い。日本橋川においても、下層は貧酸素化し底泥も多く存在しており、リンの溶出が起こりやすい環境にあるものと考えていたが、荒川の結果とは異なる結果を得た。荒川では全リン濃度の鉛直分布は見られず一律な値を示しており、河口部での下層の濃度が高くなる結果は得られなかったが、その他の観測地点においてはほぼ同じ結果を示した。

4 日本橋川における塩水の遡上特性

上記のように日本橋川・神田川においては溶存酸素が非常に低く、河床付近においては貧酸素状態となっている。これが東京湾からの貧酸素水塊の流入、河床付近の流れの構造などの要因を把握するため、日本橋川における塩水の遡上特性に関する現地観測を行った。2007年8月28日～9月2日(大潮時)の期間、日本橋川西河岸地点(河口から5.5km)において溶存酸素、塩分濃度、流速の鉛直分布の変化を集中観測した。著者らは日本橋川および上流の神田川においても溶存酸素および塩分濃度の鉛直分布を測定した。その結果、分布形状が異なるのは神田川の上流感潮域付近のみであり、東京湾からの塩水の遡上特性として日本橋川5.5km地点を代表としてとらえ観測対象地点とした。図-7に溶存酸素濃度、塩分濃度および流速の鉛直分布の時間変化および

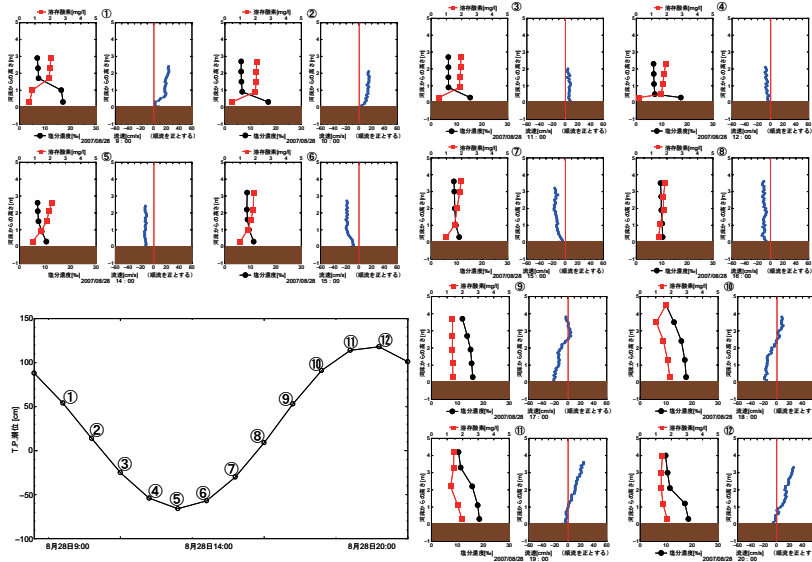


Fig. 7 Vertical profile of Dissolved Oxygen Concentration, Salinity, and Velocity and time series of tidal level [Date: 28/08-04/09/2007]

び潮位を示す。下げ潮時の溶存酸素を見ると表層で濃度が高く河床付近で低い。塩分濃度は表層で低く河床付近で高い濃度を示しており、2層構造を有する弱混合の形で塩水が存在していることがわかる。しかしながら、干潮時から上げ潮時にかけて、表層と河床付近の溶存酸素および塩分濃度の違いがなくなり、強混合で塩水が遡上してくることがわかる。また、流速の鉛直分布を見ると順流時には河床付近で流速がほとんどなく、逆流時のみ河床付近で流れが生じるという水理構造を有していることを示した。図-7の⑦、⑧、⑨に示すよう逆流時には溶存酸素は鉛直方向一様の強混合として遡上しておりその濃度は平常時の貧酸素濃度よりも高い濃度を示している。よって、日本橋川河床付近における貧酸素現象は東京湾からの貧酸素水塊の流入が要因ではないと考えられる。平水時から貧酸素化している原因としては、生物的な酸素消費や河床付近の底泥などによる酸素消費が継続する状況下において、水の流動が生じないという流れの構造上生じる問題であると考えられる。しかしながら、今後は底質酸素消費速度などの定量的な指標を用いることで上記考察の確認をする必要がある。

5 降雨時の塩分濃度および溶存酸素飽和度の変化

5.1 日本橋川における観測結果

下水道の整備に伴い神田川、日本橋川の水質環境は劇的に改善されてきたが、合流式下水道の問題点として降雨時にオーバーフローした下水がそのまま河川へと流入する点があげられる。観測中にも2007年の観測実施中に2時間で20mm、最大降雨強度10mm/h(アメダス、練馬地点)の降雨が発生した。図-8に日本橋川西河岸橋地点(河口から5.5km)における塩分濃度、溶存酸素、潮位、流速、降雨強度の時系列を示す。なお降雨強度は、神田川の集水エリアを考慮した上で、気象庁の練馬測候所のデータを代表的数値として用いる。観測中、降雨に伴い溶存酸素飽和度が急激に低下した。この要因としては、2つが考えられる。1点は、中野水再生センターおよび落合水再生センターからの一次処理放流水もしくは合流式下水道からオーバーフロー水の流入が、平常時の流量(日本橋川地点1.6m³/s)を大幅に上回ったことにより、流速が上昇(底層における流速40cm/s程度)し、底泥などからの懸濁態物質の巻き上げが生じることで酸化などの化学反応が生じたものと考えられる。もう1点は、降雨時に合流式下水道からオーバーフローしてくる、希釈された下水による影響であ

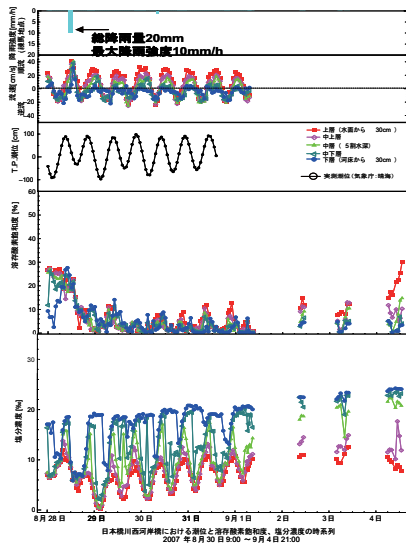


Fig. 8 Time series of Velocity, Rainfall, Dissolved Oxygen Saturation and Salinity [Date: 28/08-04/09/2007]

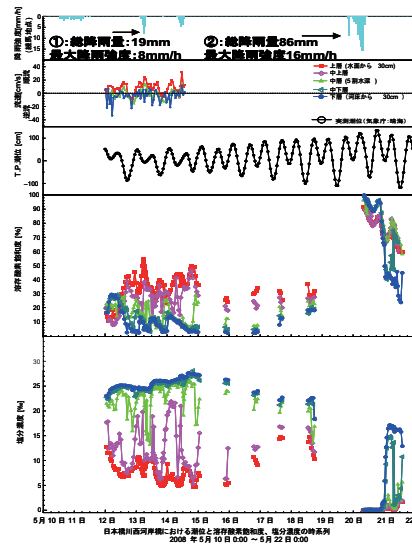


Fig. 9 Time series of Velocity, Rainfall, Dissolved Oxygen Saturation and Salinity [Date: 12-23/05/2008]

川村理史 岡部真人 山田 正

る。このオーバーフロー水が嫌気性であり BOD 濃度は非常に高濃度である可能性が考えられ、観測時の日本橋川の水量としても、日本橋川平常時流量を大幅に上回る $42 \text{ m}^3/\text{s}$ (ADCP 観測値) のピーク流入量があったため、その影響が強いものと考えられる。降雨時には上流からの流入する雨水の影響によるものと思われる塩分濃度の低下現象が確認された。このように降雨後の瞬時的な増水により、塩分濃度の高い水が下流に押し流されることを「雨水のフラッシュ効果」と定義した。降雨以降、河川の見た目や臭気などは 2 日間程度で元の状態に戻った。水質に関しては、塩分濃度は降雨前の値まで回復するのに 6 時間程度であった。一方、溶存酸素が降雨前の濃度まで回復するのに 6 日程度要しており、塩分濃度よりも回復するまでに時間を要している。溶存酸素が回復するまでの変動を見てみると、逆流時に溶存酸素が高くなり、順流時に低くなっている。時間の経過と共に、逆流時の溶存酸素の値が高くなっていることから、出水後は下流において溶存酸素濃度が回復し、徐々に回復した水塊が上流に遡上し、観測対象地点まで到達するのに 6 日間要するものと考えられる。しかし、溶存酸素回復のメカニズムを定量的に述べるには、下流域も含めた調査を実施し、上記考察の確認をする必要がある。

2008 年の観測結果を図-9 に示す。観測時、潮位は 2007 年の観測とは逆に小潮から大潮に向かう状況であった。観測の前半で 6 時間に 19 mm、最大降雨強度 8 mm/h の降雨が発生した。この観測においては、降雨後の溶存酸素飽和度が全層で低下する現象はみられず、雨水のフラッシュ効果も確認されなかった。前回の観測と 2007 年の観測結果と比較すると、まず降雨の規模は 2 つの観測において同規模である。前述した溶存酸素濃度低下の原因として合流式下水道からオーバーフローした流入水の影響が大きいと仮定した場合、降雨規模がほぼ同じであることから、この観測においても同程度の下水の流入があり、河川内の溶存酸素は急低下するものと考えられる。しかし、この観測において急低下は起こらなかった。また、底層の流速を比較すると、2008 年は 10 cm/s と 2007 年の観測時の流速 40 cm/s より低いので 2007 年の観測時の方が掃流力は大きいものと考えられる。これらのことから、溶存酸素濃度低下の要因として、合流式下水道によるオーバーフロー水の影響よりも、掃流力増加により底泥が巻き上げられことによる影響が強いと考えられる。溶存酸素濃度低下のメカニズムを解明するためには、今後下水吐き吐口からの越流水の水質を測定し河川の水質に及ぼす影響を定量的に評価する必要がある。

また、2008 年の観測後半には、14 時間で 86 mm、最大降雨強度 16 mm/h の降雨が発生した。観測開始時、溶存酸素飽和度がほぼ 100% まで上昇しており、塩分濃度は 1% 以下まで低下した。これは、猛烈な降雨により、2007 年の観測よりもさらに強い雨水のフラッシュ効果が発生し、河川に流入した溶存酸素が飽和状態の雨水が、降雨前の溶存酸素の低い流水を完全に下流に押し流してしまったために起こったものと考えられる。この観測は降雨中に観測を実施していないので、降雨初期段階で溶存酸素の急低下が起こったかどうか捉えることはできなかった。飽和状態である溶存酸素は時間経過とともに低下していき、底層の値は 30 時間後に降雨前の濃度付近まで低下し、表層は低下したものの依然として降雨前の値と比べると高い状態であった。これらの観測結果から、降雨後に溶存酸素と塩分濃度の変化として、以下の 3 ケースの現象が起こることを明らかにした。1) 2 時間で 20 mm、最大降雨強度 10 mm の降雨後、河川底層の流速が増加し、溶存酸素、塩分濃度共に全層で低下する現象が起こる。2) 6 時間で 19 mm、最大降雨強度 8 mm の降雨後、河川底層の流速は増加せず、溶存酸素、塩分濃度は共に全層で降雨前と値は変わらない。3) 14 時間で 86 mm、最大降雨強度 16 mm/h の降雨後、溶存酸素は全層で 100% 近くまで上昇し塩分濃度は全層で 0% 近くまで低下する。

5.2 掃流力による河床底質巻き上げの評価

日本橋川における溶存酸素濃度の低下が起こる現象の要因として、上記のように降雨に伴う流量の増加により河床の底質の巻き上げが考えられる。現地観測の結果得られたデータを用いて、掃流力と河床付近の底質の限界掃流力を比較し巻き上げ現象が起こるか算出した。また、一次元数値計算 (MIKE11) を用いて観測当日の潮位条件と降雨による流量を想定し掃流力を算出し比較した。東京都第一建設事務所の日本橋川底質調査報告書によると、日本橋川の底質は、観測地点である西河岸橋周辺において表層が浮泥 (50% 粒径 0.026 mm)、表層下 1 m までシルト質の細粒分質砂 (50% 粒径 0.079 mm) である [9]。底質の無次元限界掃流力の算出には岩垣の式 [10]、を用いて無次元限界掃流力を求めた。また、流速は瞬時的には等流状態であると仮定し、平均流

都市河川感潮域における水質、流動特性に関する研究

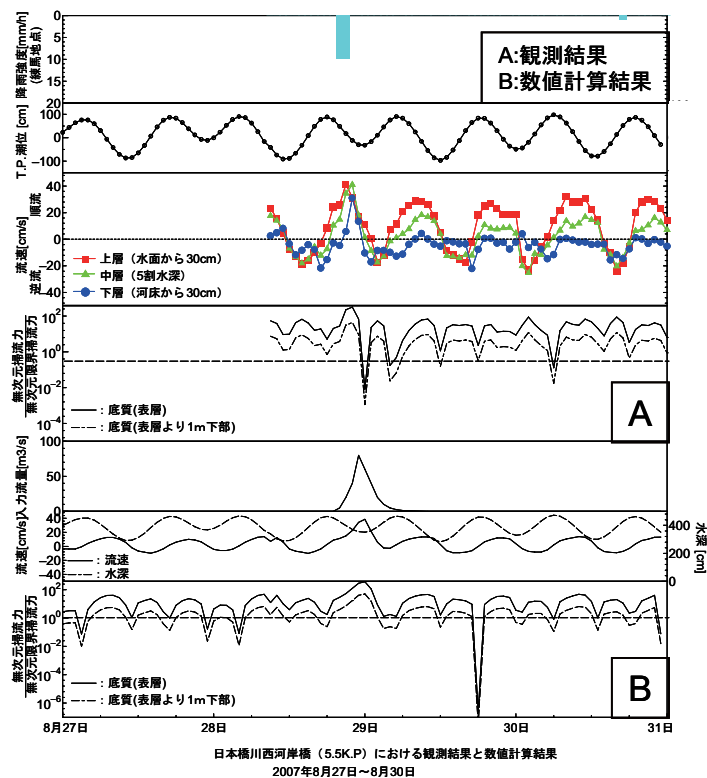


Fig. 10 Influence of boundary shear stress to sediment resuspension on river bed in Nihonbashi River

速をマンギンの平均流速公式により算出し、流速からエネルギー勾配を求め無次元掃流力を算出した。図-10に無次元掃流力と無次元限界掃流力の比を示す。図を見てみると、降雨時にその比が1以上になることから、河床において巻き上げが発生する可能性があることがわかる。しかし、今回の掃流力算出は、日本橋川の底質がへドロ状であるにも関わらず、砂質に適用される岩垣の式を適用し、降雨時において流量が短時間に増加するような状況において等流を仮定して、マンギンの流速公式を使用していることなど、実際に巻き上げを評価するには適していないと考えられる部分がある。浮泥の限界掃流力や厳密な掃流力の算出する必要があると考えるが、観測結果の評価の参考として記述したものである。

6 降雨時の BOD 濃度と大腸菌群数について

都市河川における降雨時の問題として、合流式下水道からの越流水や水再生センターから1次処理された放流水が挙げられる。これらの影響による水質濃度の変化を調査するために2008年5月12日～15日に定点観測を実施した。図-11に神田川、日本橋川で降雨時にBOD濃度、大腸菌群数と濁度を測定した地点を示す。図のようにA地点は落合水再生センターの放流地点から2km下流の地点の流水、B地点は神田川の感潮域最上流であり、雨水吐き出口から100m下流の流水、C地点は日本橋川の流水の表層水を採水した。降雨時には雨水吐きから越流水が確認され、河川の水量も増えていたことから、落合水再生センターからは一次処理水が放流されたものとする。A地点においては落合水再生センターの処理水の他に妙正寺川の上

川村理史 岡部真人 山田 正

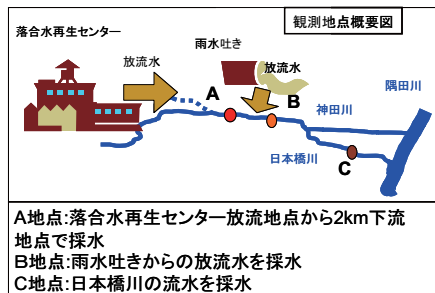


Fig. 11 The Sketch of observation in Kanda River and Nihonbashi River

流からの流水，神田川からの越流水，高田馬場分水路内に存在する可能性のある雨水吐きからの越流水が混ざった水を採水している。図-6にBOD濃度と大腸菌群数，降雨の時系列を示す。A地点は降雨から3時間経過後にBOD濃度が上昇し始め最大降雨強度直後に最大値(96.0 mg/l)となった。大腸菌群数をみても降雨時濃度は降雨前と濃度はほとんど変化していないことがわかる。B地点は降雨中にBOD濃度と大腸菌群数が上昇し，最大降雨強度直後にBOD濃度最大値(64 mg/l)，大腸菌群数最大値(1.3×10^8 MPN/100 ml)となった。降雨時に幅2m程の大きめの雨水吐き吐口から越流水が確認された。降雨が強くなって雨水が合流式下水道に流入すると，下水道を流れる初期の流水は水再生センターに流入する。その後，流入量がさらに増えると雨水吐きから雨水により希釈された下水が越流し，吐口から河川に流入する。観測では表層を流れたこの越流水を採水したために濃度が上昇したものと考える。

C地点は降雨中に濃度は急激に上昇せず，BOD濃度と大腸菌群数は5月13日の降雨から2日間かけてゆっくりと上昇した。日本橋川においても雨水吐き吐口は存在しており，神田川の観測地点のように降雨直後に濃度が急激に上昇しなかった理由はこの観測において十分に説明することができない。日本橋川においてBOD濃度などが徐々に上昇した要因として，感潮域における流水の滞留と，潮位の変動が小潮であり大潮の時ほど流れていなかったということが考えられる。日本橋川は神田川から分岐しているため，神田川の下流でも同様の現象が起きていると考えられる。今後は神田川の下流も含めて降雨時に観測を実施し，上記の考察結果の確認をする必要があると考える。

7 まとめ

本論文は日本橋川，神田川，荒川，隅田川を対象とした水質の時空間分布特性に関する現地観測の結果をまとめたものである。得られた知見を下記に示す。

- 1) BOD濃度は，表においては，外堀以外の観測地点で5 mg/l以下の低い値を示しているが，底層においては神田川の外堀から2km上流の地点で10 mg/lを越える高い値を示し，流下とともに濃度が減少するこ

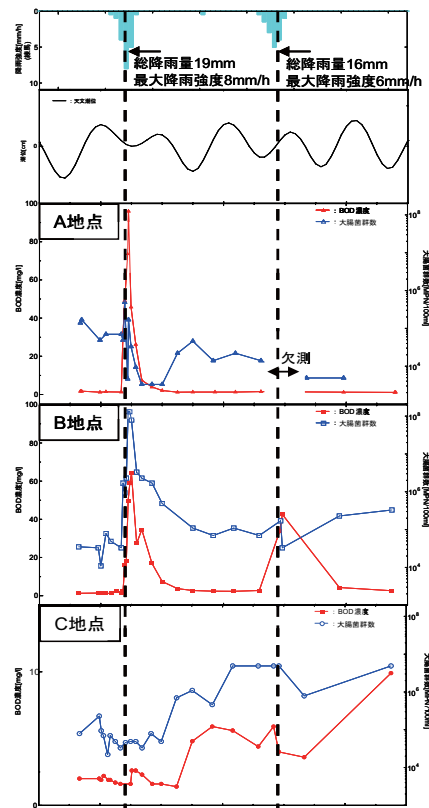


Fig. 12 Time series of rainfall, BOD and Total Coliform [Date: 12-23/05/2008]

都市河川感潮域における水質、流動特性に関する研究

とを示した。

- 2) 全窒素、全リンに関しては殆どの観測地点で非常に高い値を示し、神田川、日本橋川では水再生センターからの放流地点より下流で全窒素、全リン濃度が高く流下とともに濃度が低下することを示した。
- 3) 日本橋川では逆流時に強混合で塩水が遡上していることを示した。順流時には表層で溶存酸素が高く河床付近で低く、塩分濃度は河床付近で高いという2層構造の弱混合で塩水が存在していることがわかった。
- 4) 日本橋川では降雨時に溶存酸素が急激に低下する場合と降雨前とほぼ変わらない場合、飽和度が100%近くまで上がる場合の3つのパターンが存在することを示した。また、潮位が大潮から小潮に向かう状況では、溶存酸素は降雨終了以降初期濃度に回復するまで6日間程度要することがわかった。
- 5) 日本橋川における底質の巻き上げ検討においては、等流状態を仮定した上で掃流力と限界掃流力の比較を行い、降雨時において底室が巻き上がりやすい状態にあることがわかった。
- 6) BOD濃度は神田川の感潮域最上流より上流の地点で降雨時に急激に上昇しその後急激に低下することを示した。大腸菌群数は雨水吐き吐口より下流で降雨時に急激に上昇しその後急激に低下することを示した。日本橋川においてはBOD濃度、大腸菌群数ともに降雨後に2日間かけて値が上昇することを示した。

謝辞：本論文における現地調査の遂行にあたり国土交通省荒川下流事務所、名橋日本橋保存会、日本橋地域ルネッサンス100年計画委員会には多大なご協力、ご助言を頂いた。また、本研究は中央大学理工学研究所の研究補助を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- [1] 呉修一、山田正：単一斜面における水質ハイドログラフ形成過程に関する研究、土木学会水工学論文集、Vol.48, pp.55-60,2004.
- [2] 呉修一、北村知里、江花亮、山田正：小流域における水質ハイドログラフの形成過程に関する研究、土木学会水工学論文集、Vol.49, pp.157-162,2005.
- [3] 呉修一、北村知里、江花亮、山田正：小流域における水質ハイドログラフの形成過程および推定手法に関する研究、土木学会水工学論文集、Vol.50, pp.-,2006.
- [4] 土肥学、志村光一、布村明彦、山田正、吉川秀夫：荒川感潮域における水質の縦断分布とその時空間変動特性に関する現地観測、河川技術に関する論文集、Vol.5, pp.-,1999.
- [5] 土肥学、竹野顕、三沢大輔、志村光一、池永均、山田正：荒川下流域における水質分布特性、水文・水資源学会1998年研究発表会要旨集、pp.220-221,1998.
- [6] 本永良樹、武内慶了、土肥学、山田正：荒川感潮域における水質変動要因に関する現地観測、土木学会水工学論文集、Vol.46, pp.929-934,2002.
- [7] 東京都環境局：公共用水域及び地下水の水質測定結果の概要、2007.
- [8] 東京都建設局：神田川再生構想検討会報告書、2004.
- [9] 東京都第一建設事務所：日本橋川底質調査報告書、2007
- [10] 岩垣雄一：限界掃流力に冠する基礎的研究 (I) 限界掃流力の流体力学的研究、土木学会論文集、Vol.41, pp.1-20,1956.