

15. 都内中小河川感潮域の流量変化と水質特性

Discharge Estimation and Water Quality Survey at the Tidal Area of Small Rivers

技術支援課 高崎忠勝、杉原大介、岩屋隆夫

1. はじめに

東京の中小河川感潮域ではスラムや硫化水素臭がしばしば発生しており河川水質の改善が求められている。河川水質の改善に向けた検討においては流況の把握が必要不可欠であるが、多くの中小河川感潮域では流況がほとんど把握されていない状況にある。この原因のひとつとして水位と流量の関係が一意的にならない感潮域では、時々刻々と変化する流量を把握するために水位を連続して計測するだけでなく流速についても連続して計測する必要があり、順流域における流況を把握するのに比べて難しいことが挙げられる。今日では超音波ドップラー流速分布計（ADCP）や水平設置型ADCP（H-ADCP）を用いることで感潮域の流量についても連続計測を行うことが技術的には可能となっている¹⁾が、こうした機器は高価であることから、より簡易に感潮域の流況を把握する手法の構築が望まれる。また、感潮域の水質は水面付近と河床付近で大きく異なっており、水質特性の把握についても順流域と比べて難しいものとなっている。

本報告は神田川下流域を対象に流量変化や水質特性を把握するため、流量観測や水質調査を行うと共に流速と水位の連続計測を行い、得られた結果をもとに流況について検討を行ったものである。

2. 対象及び調査概要

対象としたのは図 - 1に示した神田川下流域であり、日本橋川や亀島川も含まれる。

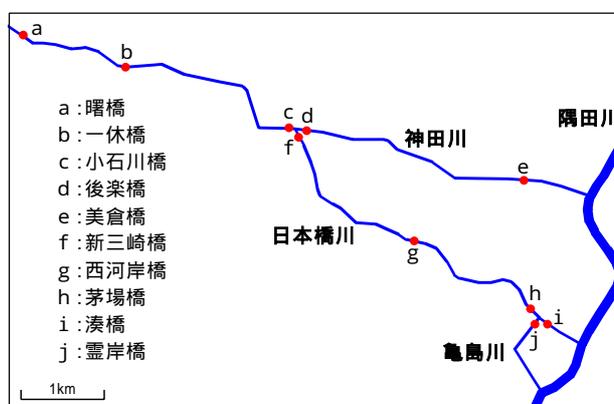


図 - 1 対象範囲

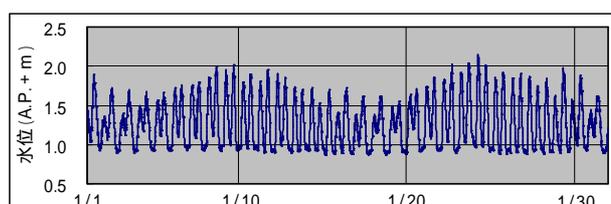


図 - 2 一休橋地点の水位変化（2008年1月）

神田川は三鷹市の井の頭池に源を発し、善福寺川、妙正寺川を合流し日本橋川を分派して隅田川に流入する流域面積105km²、延長25.48kmの荒川水系の河川である。日本橋川は上流端で神田川、日本橋水門において亀島川、下流端で隅田川と接する延長4.84kmの河川である。亀島川は上流端で日本橋川、下流端で隅田川と接する延長1.06kmの河川である。

図 - 2に示した一休橋（地点 b）の水位変化をみると潮が低い時間は河川水位が潮汐の影響を受けていないことから概ね地点 b の下流が潮汐の影響を受け

る区間であると判断される。

曙橋（地点 a）は潮汐の影響を受けない順流部に位置している。豊島区の水時計が設置されており順流部の水位観測所としては最下流に位置している。曙橋においては流量観測と水質調査を行った。

感潮域の流量変化を長期間連続して把握するために美倉橋（地点 e）と西河岸橋（地点 g）の2箇所に流速及び水位の計測装置を設置し連続計測を行うとともに流量観測と水質調査を行った。なお、西河岸橋は公共用水域水質調査の対象地点となっている。

また、流水の分派特性を検討するために日本橋川分派地点の近くに位置する小石川橋（地点 c）、後楽橋（地点 d）、新三崎橋（地点 f）と亀島川分派地点の近くに位置する茅場橋（地点 h）、湊橋（地点 i）、霊岸橋（地点 j）において流量観測と水質調査を行った。小石川橋は水防災総合情報システム飯田橋水位観測所の近くに位置しており、後楽橋と新三崎橋については千代田区の水時計が設置されている。また、霊岸橋のすぐ上流に位置する日本橋水門において水位を観測している。

3. 流量の把握

(1) 計測装置

感潮域の流量変化を連続的に把握するためには順流域と異なり流速を連続的に計測する必要があることから地点 e, g に流速と水位の測定装置を設置した。地点 g に設置した測定装置について流速計の配置を図 - 3 に示した。なお、地点 e に設置した計測装置は流速計の設置高が図 - 3 と異なるものの構成は同じものとなっている。鉛直方向の流速変化を把握するために指向性を有する流速計（RF低水用，愛知電気(株)製）を順流用と逆流用に2個1組として異なる高さに3組を配置している。流速計の精度保証流速範囲は0.2～2m/s であるが、この範囲を下回る流速についても信号を出力するように設定している。この流速計は1個数万円と安価であり水位の連続計測と大きく変わらない費用で流速の連続計測を行える点が大きなる特長である。水位を把握する目的で水位計（UIZ-WL500，(株)ウイジン製）を設置した。流速の記録は30分間隔、水位の記録は10分間隔として2007

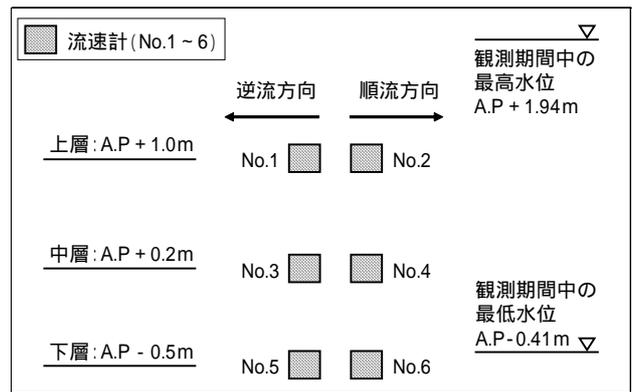


図 - 3 連続観測装置の流速計配置（西河岸橋）

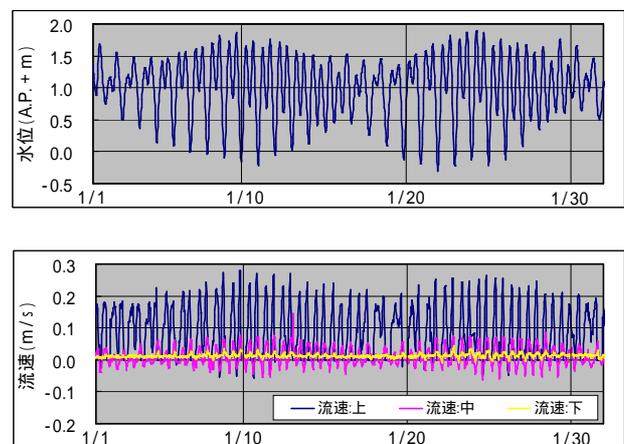


図 - 4 連続計測結果（西河岸橋：2008年1月）

年11月28日以降継続して計測を行っているが、本報告では2008年2月28日以前に回収したデータを用いて検討を行っている。

(2) 計測データ

地点 g の連続計測において2008年1月に得られた流速及び水位データを図 - 4 に示した。なお、流速は上層・中層・下層のそれぞれについて順流方向の流速から逆流方向の流速を引いたものとしている。各流速計が記録した範囲はNo.1が0～0.164m/s、No.2が0～0.381m/s、No.3が0～0.231m/s、No.4が0～0.297m/s、No.5が0.003～0.058m/s、No.6が0.015～0.123m/s となっている。

なお、上層と中層の流速計（No.1～4）の最小値が0となっているのは流速計の設置位置が観測期間中の最低水位より高い位置にあるためである。ほとんどのデータは流速計の精度保証範囲より小さい値と

なっているものの、各層の流速は潮汐変化に伴う流速変化や鉛直方向の流速の違いが表されている。

(3) 係数

計測装置は2地点とも右岸に設置しており平均流速と比べて小さい流速を計測している。そこで人力により橋上から流速計を用いて流量観測を実施し、得られた流速分布をもとに式(1)の係数 (k_{12} , k_{34} , k_{56}) を決定した。

$$V_c = k_{12} \times V_{12} + k_{34} \times V_{34} + k_{56} \times V_{56} \quad \text{式(1)}$$

ここに、 V_c ：計算流速， V_{12} ：上層流速， V_{34} ：中層流速， V_{56} ：下層流速， k_{12} ， k_{34} ， k_{56} ：係数

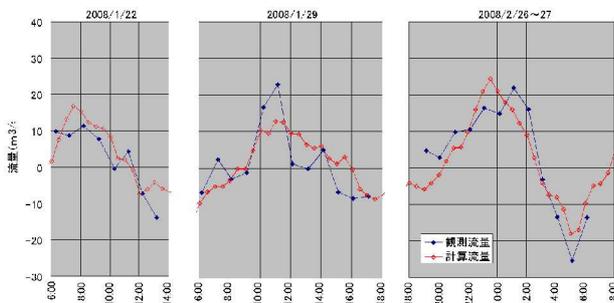


図 - 5 計算流量と観測流量の比較 (西河岸橋)

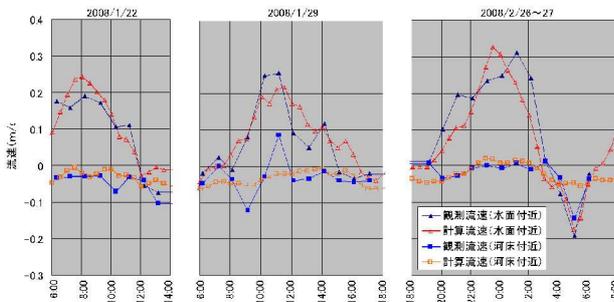


図 - 6 計算流速と観測流速の比較 (西河岸橋)

表 - 1 係数

日本橋川西河岸橋	k_{12}	k_{34}	k_{56}
平均流速	0.010	1.833	-1.089
水面付近(2割水深)	0.315	2.454	1.089
河床付近(河道中心付近8割水深)	-0.173	1.154	-2.530
神田川美倉橋	k_{12}	k_{34}	k_{56}
平均流速	-0.126	1.852	2.000
水面付近(2割水深)	0.672	0.964	4.169
河床付近(河道中心付近8割水深)	-0.709	1.430	5.849

2地点の係数の値を表 - 1、地点 g における流量観測による観測流量と連続計測データから算出した計算流量について図 - 5、水面付近(2割水深)と河床付近(河道中心付近8割水深)における流量観測による観測流速と連続計測データによる計算流速について図 - 6に示した。このように表 - 1に示した係数を用いることで河川流量の変化や流速の変化を推定することが可能である。

4. 流量の変化

地点 a において流量観測を行い、水位データと観測流量の関係について式(1)を求めた。

$$Q = 4.564 \times (H + 0.236)^2 \quad (1)$$

ここに、 H ：水位データ (m)， Q ：流量 (m^3/s)

水位データと式(1)を用いて地点 a の流量を算出した。2007年について1年間の流量を算出した結果、平均流量は $3.9m^3/s$ となった。

2007年11月29日から2008年2月27日までの地点 e，g の流量変化を図 - 7に示した。2地点の平水時の流量は概ね $20 \sim 20m^3/s$ の範囲で変化している。この期間の平均流量は地点 e が $5.0m^3/s$ 、地点 g が $1.5m^3/s$ となっており、隅田川に流入する水量は日本橋川より神田川の方が大きい。

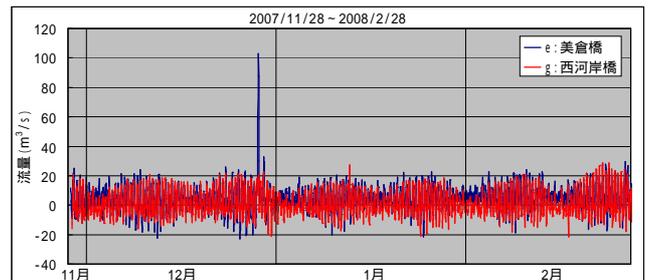


図 - 7 流量の変化

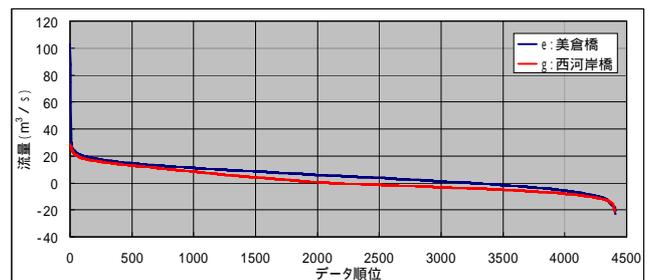


図 - 8 流量の変化

図 - 8は図 - 7の流量データを大きい順に並び替えたものである。地点eの流量データは全データのうち73%を順流方向のデータが占めていたが、地点gでは順流方向のデータは全データの48%であり順流方向の流れと逆流方向の流れを生じている時間はほぼ同じ割合となっている。日本橋川は神田川下流部と比べて逆流方向の流れが占める割合が大きなものとなっている。

水面付近と河床付近の流速を連続計測データから推測すると、地点eにおいては水面付近の流速は概ね $-0.3 \sim 0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ の範囲で変化しており、調査期間の平均流速は $0.09 \text{ m}^3/\text{s}$ となっている。また、底層付近の流速は概ね $-0.4 \sim 0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ の範囲で変化しており、調査期間の平均流速は $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ となっている。地点gにおいては水面付近の流速は概ね $-0.1 \sim 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ の範囲で変化しており、調査期間の平均流速は $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ となっている。また、底層付近の流速は概ね $-0.1 \sim 0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ の範囲で変化しており、調査期間の平均流速は $-0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ となっている。2地点共に水の流れは水面付近と河床付近で大きく異なっており、地点gの底層付近の流速は地点eと比べて小さいものとなっている。

5. 分派特性

(1) 平水時

日本橋川の分派地点の近くに位置する地点c, d, fと亀島川の分派地点の近くに位置する地点h, i, jの計6地点において2008年2月22～23日にADCPを用いて1時間に1回の頻度で計24回の流量観測を行った。

図 9に日本橋川分派付近の流量変化を示した。地点cでは $-10.42 \sim 8.84 \text{ m}^3/\text{s}$ 、地点dでは $-2.8 \sim 2.61 \text{ m}^3/\text{s}$ 、地点fでは $-10.8 \sim 7.21 \text{ m}^3/\text{s}$ の流量が観測された。地点c, fの流量は同じような変動を示しており、両地点ともに上げ潮の中間の時間帯（22日15:00～16:00）に流量の最大値を記録し、下げ潮の中間の時間帯（22日19:00～20:00）に最小値を記録した。地点dは他の2地点に比べて流量が少なく流量の変動幅も小さかった。3地点に共通して順流方向の最大流量より逆流方向の最大流量の方が大きい値を観測した。図 10に調査期間中の累積流量を示し

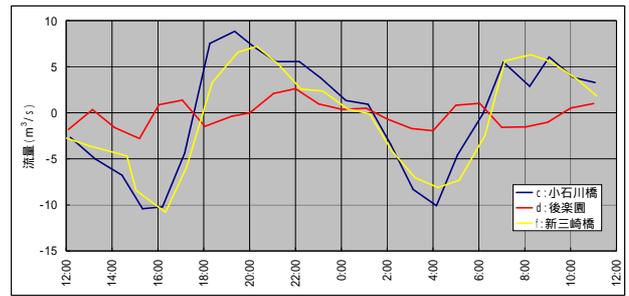


図 9 日本橋川分派付近の流量変化

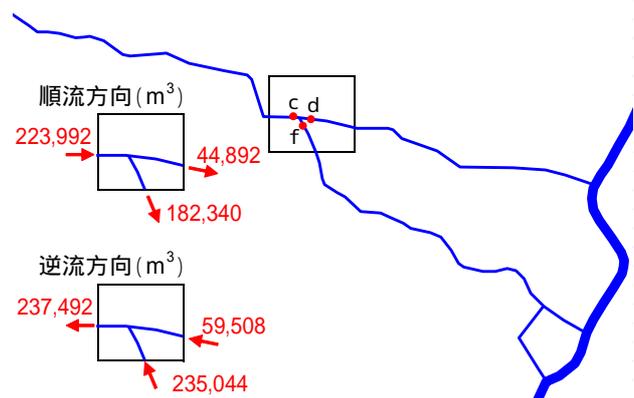


図 - 10 調査期間累積流量（日本橋川分派付近）

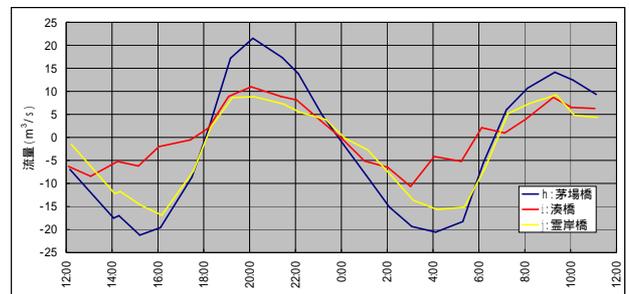


図 - 11 亀島川分派付近の流量変化

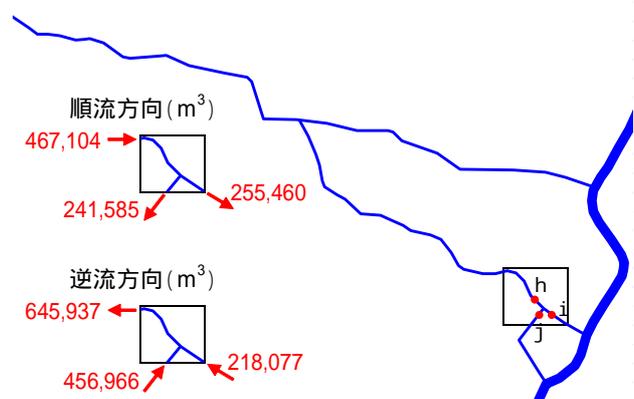


図 - 12 調査期間累積流量（亀島川分派付近）

た。3地点の累積流量は逆流方向が順流方向より大きい。逆流方向と順流方向の累積流量の差は地点cが $3,500\text{m}^3$ 、地点dが $14,616\text{m}^3$ 、地点fが $52,704\text{m}^3$ となっており地点fが他の2地点に比べて大きい。

図11に亀島川分派付近の流量変化を示した。地点hでは $-21.2\sim 21.5\text{m}^3/\text{s}$ 、地点iでは $-10.7\sim 11.0\text{m}^3/\text{s}$ 、地点jでは $-16.9\sim 9.2\text{m}^3/\text{s}$ の流量が観測され、地点h、iでは順流方向の最大流量と逆流方向の最大流量はほぼ同じであった。3地点の流量変化は潮汐の影響を受けて同じような変動を示しているが地点i、h、jの順にピークが早い時間に発生している。図12に調査期間中の累積流量を示した。順流方向については日本橋川下流と亀島川に同程度の水量が流れるが、逆流方向については水量が異なり、その割合は日本橋川下流(湊橋)1に対して亀島川(壺岸橋)2程度となっている。

(2) 出水時

2007年12月29日の出水時における地点a、e、gの3地点の流量変化を図13に示した。気象庁東京気象台において2007年12月29日の2時から3時にかけて10mmの雨量を記録している。地点aの流量は水位データと式(1)を用いて算出したものであり、地点e、gの流量は連続計測データと係数を用いて算出したものである。

3地点の最大流量は地点aが $52\text{m}^3/\text{s}$ 、地点eが $103\text{m}^3/\text{s}$ 、地点gが $23\text{m}^3/\text{s}$ となっており、洪水時には日本橋川より神田川下流に多く流れるものと推定される。ただし、3地点における流量観測時の流量は計画流量と比べて極めて小さい流量であることから

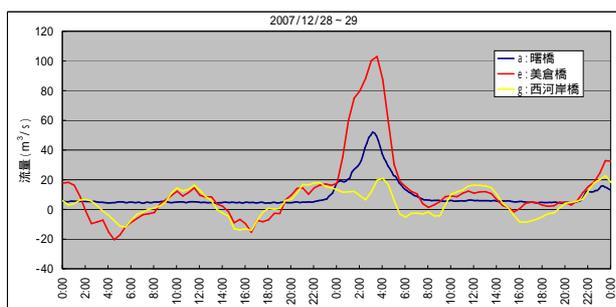


図 - 13 出水時の流量変化

最大流量の推定値に大きな誤差を含んでいる可能性があり、大雨時に流量観測を実施し流量の推定精度を向上させることが課題として残されている。

6. 水質

(1) 平水時

平水時の水質について地点c、d、e、f、g、h、i、jの8地点の調査結果を図14に示した。地点e、gは2008年1月22日に採水を行い、他の6地点は2008年2月22～23日に採水を行っている。なお、各調査期間中に降雨は観測していない。

水面付近と河床付近の水質の違いは8地点で概ね同様の傾向がみられた。水面付近と河床付近の水質を比較した時に全体的に水面付近の値が大きい項目は、COD、T-N、T-P、大腸菌群数であり、河床付近の値が大きい項目は、塩分濃度、BOD、SSである。

水温については日本橋川に位置する地点g、h、iと亀島川に位置する地点jの4地点では水面付近と河床付近に大きな違いがみられなかった。

(2) 出水時

2008年2月26～27日に4地点(a、c、e、g)で実施した水質調査結果について図15に示した。気象庁東京気象台において2008年2月26日の22時から23時にかけて8.5mmの雨量を記録しており、短時間に比較的強い雨が降った時の水質変化を示している。なお、地点c、e、gは水面付近の水質を示している。これらの3地点では河床付近と水面付近の2点で採水しているが、河床付近の水質は降雨による水質変化が極めて小さかった。このことから出水時においても河床付近では大きな水の動きは生じていないものと推察される。

各観測地点の水質項目の最大値に着目する。大腸菌群数については地点a： $5.4 \times 10^6\text{MPN}/100\text{ml}$ 、地点c： $4.4 \times 10^6\text{MPN}/100\text{ml}$ 、地点e： $4.9 \times 10^6\text{MPN}/100\text{ml}$ 、地点g： $6.6 \times 10^4\text{MPN}/100\text{ml}$ となっている。いずれの地点についても平水時の水質と比較すると大きな値となっているが、地点a、c、eと比べて地点gは小さな値となっている。BOD、COD、SS、T-N、T-Pは地点a、c、e、gの順に値が大きくなっており、

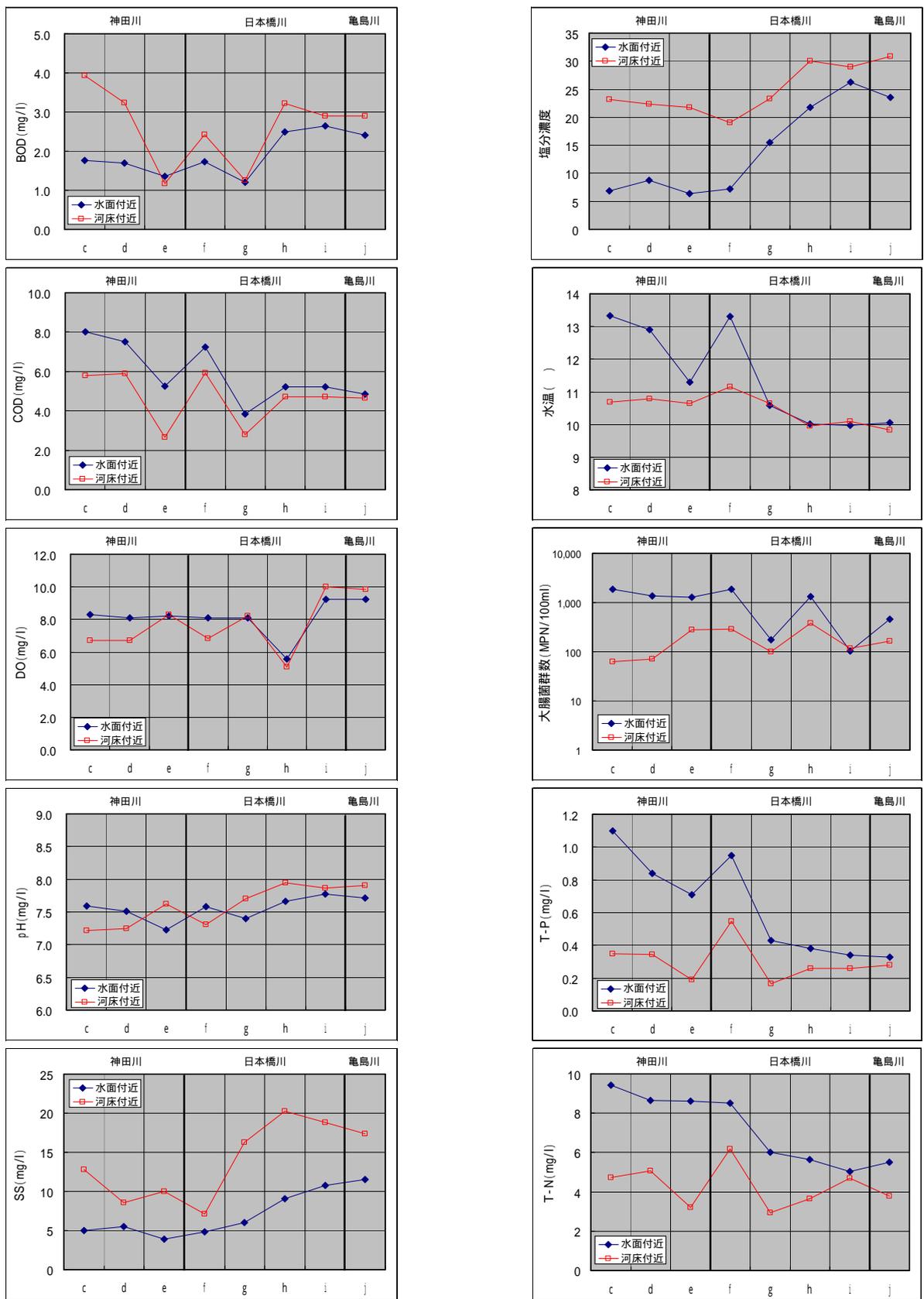


図 - 14 冬季における平水時の水質

特に地点 a の値が他の3地点と比べて大きくなっている。BODについては地点 a が250mg/l に対して他の3

地点は3.4~30mg/l であり、CODについては地点 a が93mg/l に対して他地点は6.6mg~30mg/l、SSについ

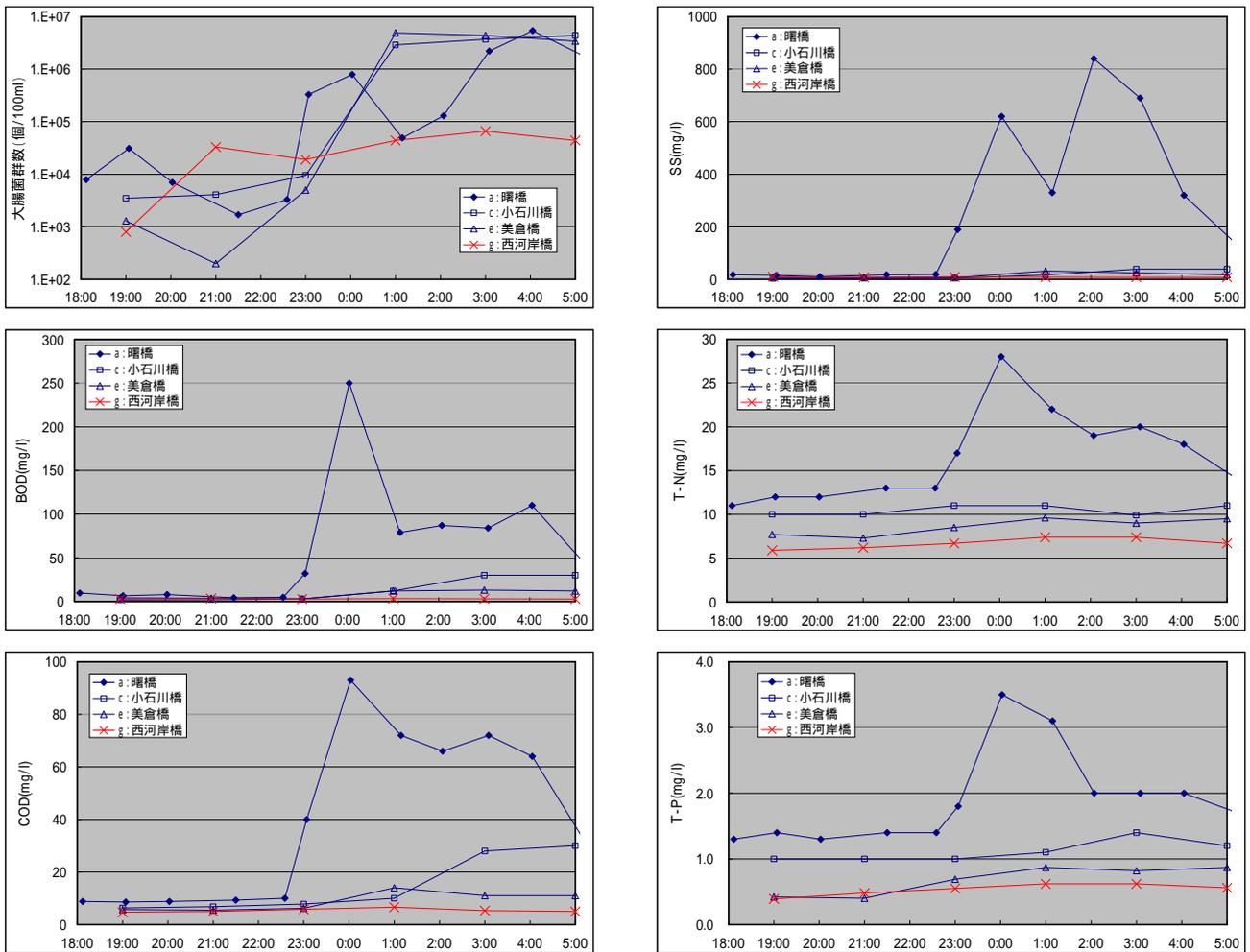


図 - 15 出水時の水質変化

では地点 a が840mg/l に対して他地点は30～39mg/l、T-Nについては地点 a が28mg/l に対して他地点は7.4～11mg/l、T-Pについては地点 a が3.5mg/l に対して他地点は0.62～1.4mg/l となっている。水質調査と同時にに行った流量観測で記録された最大の平均流速は地点 a が0.69m/s に対して地点 c が0.34m/s、地点 e が0.36m/s、地点 g が0.18m/s となっており、感潮域の3地点の流速は順流域の地点 a の半分以下の流速となっている。このことからBOD、COD、SS、T-N、T-Pの多くは潮汐の影響を受けて流速が大きく変化する地点 b の下流から地点 c の区間において沈降したものと推察される。

(3) SSと透視度

SSと透視度を同時に測定している2008年2月22～23日の地点 h における水質調査結果をみると、透視度は水面付近で51.0～93.0cm、河床付近で34.0～71.0

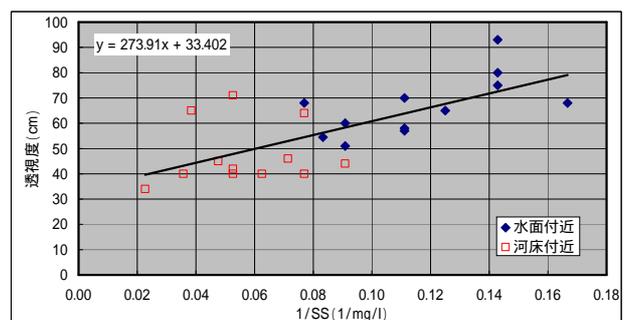


図 - 16 透視度とSSの関係

cmであり、河床付近は水面付近と比べて透視度が低い。また、SSは水面付近で7～13mg/l、河床付近で11～44mg/lであり、河床付近は水面付近と比べてSSが高い。茅場橋におけるSSと透視度の関係については図 - 16に示したように、SSの逆数と透視度の相関が比較的高く、SSから透視度の推定を行うことが可能である。水深が透視度の値以下の場合に河床が見られるものと仮定すると神田川の下流域や日本橋川

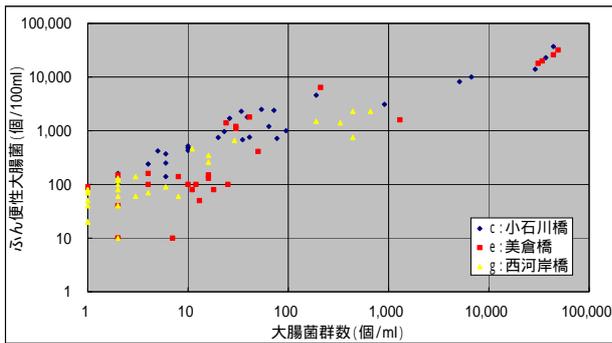


図 - 17 大腸菌群数とふん便性大腸菌の関係

においては河道断面がほぼ矩形であり干潮時においても水深が2m程度あることから河床を見ることができるようにするには透視度を2m以上確保する必要がある。図中の透視度とSSの逆数の関係式は水面付近と河床付近の両方のデータを用いて算出したものであり、この式から透視度を2m以上確保するためにはSSを1mg/lまで改善する必要があるものと推察される。

(4) 大腸菌

地点 c , e , g における2008年1月22日、1月29日、2月26～27日の水質について大腸菌群数とふん便性大腸菌の関係を図 - 17に示した。なお、図中には水面付近と河床付近の両方のデータが含まれている。3地点における大腸菌群数とふん便性大腸菌の割合に大きな違いはみられない。

ふん便性大腸菌は今後の河川水質管理において重要な指標となる項目である²⁾がこれまで都内中小河川では調査がほとんど行われていない。このため比較的多く存在する大腸菌群数のデータからふん便性大腸菌を推定することができれば河川水の親水利用を考える上で有用だと考える。

7. まとめ

神田川下流域及び日本橋川の流況把握を目的として、安価な電磁流速計を複数用いて流速の連続計測を行い、流量観測結果をもとに連続計測データから河川流量の変化を推定した。同手法は比較的規模の小さな感潮河川の流況概要を把握する上で有用であると考えられる。

神田川下流域と日本橋川では潮汐の影響を受けて水の流れが変化し、また、水面付近と河床付近では水の流れは大きく異なっている。水質についても水面付近と河床付近では大きく異なっている。平水時において日本橋川は神田川下流と比べて逆流方向の流れが大きく、雨天時の最大流量についても日本橋川より大きな流量が神田川で観測されており、隅田川への流入量は日本橋川より神田川の方が大きい。雨天時の水質については順流域で確認した水質と比べて下流に位置する感潮域の水質の値が大幅に小さくなっていることから、汚濁負荷の多くは潮汐の影響で流速が小さくなる一休橋の下流において沈降したものと推察される。

以上のように、これまでの調査によって神田川下流域と日本橋川における潮汐変化に伴う流量や流速の変化や冬季における水質特性について把握することができた。今後、大きな流量に対する推定精度を向上させるために大雨時における流量観測の実施や夏季の水質特性の把握に向けた調査が必要であると考える。また、都内中小河川の感潮域についてみると水の流れや水質等の特性が明らかになっていない河川がほとんどであり、河川管理や今後の整備について検討する上で感潮域の特性を明らかにすることが重要である。

参 考 文 献

- 1) 原田靖生、二瓶泰雄、北山秀飛、高崎忠勝(2007) : H-ADCP計測と数値計算に基づく感潮域の河川流量モニタリング～隅田川を例として～ 水工学論文集、Vol.52、943-948
- 2) 国土交通省河川局河川環境課(2005) : 今後の河川水質管理の指標について (案)